

# Aplicação Web para Cálculo de Métricas de Avaliação da Verdura de Reações Químicas em Laboratório

**Sílvia Cristina Dias de Almeida**

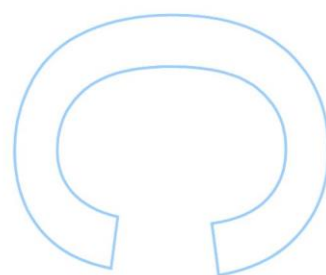
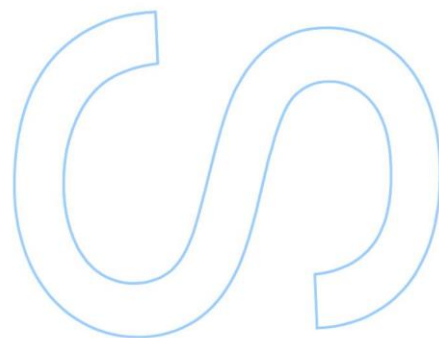
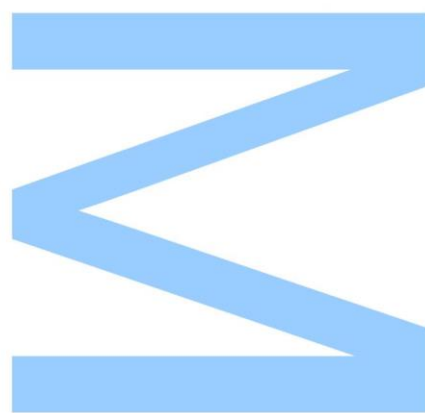
Mestre em Física e Química em Contexto Escolar  
Departamento de Química e Bioquímica  
2013

**Orientador**

Maria Gabriela Teles Cepeda Ribeiro, Categoria, Faculdade de Ciências

**Coorientador**

José Paulo Leal, Categoria, Faculdade de Ciências



## Agradecimentos

Aos Professores Doutora Maria Gabriela T. C. Ribeiro e Doutor José Paulo Leal, orientadores deste Projeto, quero reservar o primeiro agradecimento por todo o interesse e disponibilidade demonstrados durante a orientação do trabalho. O encorajamento constante, quer com sugestões quer com críticas, deu-me a possibilidade de, continuamente, corrigir e melhorar este estudo, esperando agora que o objetivo tenha sido cumprido da melhor forma.

Agradeço às minhas colegas de mestrado, todo o apoio e incentivo.

Por fim, quero agradecer ao meu namorado Ricardo toda a ajuda que me deu na área tecnológica onde a sua experiência e paciência comigo foi de maior importância.

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo a criação de uma aplicação Web para cálculo de métricas de reações químicas de modo a facilitar a avaliação da verdura de atividades laboratoriais, sínteses e outras atividades consideradas no ensino que não envolvem sínteses. A avaliação de verdura é realizada utilizando métricas de massa, energia e tempo, bem como métricas holísticas representadas através da Estrela Verde e do Círculo Verde.

A aplicação foi desenvolvida recorrendo a tecnologias Web para estar disponível *online* e ser utilizada a partir de qualquer dispositivo com acesso à internet sem nenhum tipo de instalação ou configuração necessária.

A aplicação foi avaliada por quatro professores, através de um questionário de usabilidade, e os resultados indicaram que o nível de confiança é elevado, visto os resultados do cálculo das métricas terem sido os esperados, quando comparados com os efetuados num ficheiro Excel (programa habitualmente utilizado).

## Abstract

The first objective of this work was the development of a web application to calculate metrics to assess the greenness of chemical reactions. The evaluation of greenness was performed using mass, energy and time metrics as well as holistic metrics, the Green Star and the Green Circle.

The application was developed using web technologies so that it could be available online and be accessible from any internet connected device without any type of pre installation or configuration.

Four teachers evaluated this application through a usability questionnaire and the results reflected a high level of confidence, since the metrics calculated were the expected ones, when compared against others performed using an Excel Spreadsheet, built for that purpose.

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Índice .....	iv
Índice de tabelas.....	vi
Índice de Figuras .....	vii
Lista de Abreviaturas .....	viii
Anexos .....	ix
 1. Introdução .....	 1
1.1. Introdução à Química Verde .....	1
1.2. Importância do ensino da Química Verde.....	4
1.3. Objetivo da tese .....	5
1.4. Estrutura da tese.....	5
1.5. Bibliografia.....	6
 2. Métricas de avaliação de verdura .....	 7
2.1. Métricas de massa da Química Verde.....	8
2.2. Métrica energética e métrica de tempo.....	9
2.3. Métricas holísticas – Estrela Verde e Círculo Verde.....	10
2.3.1. Estrela Verde .....	10
2.3.1. Círculo Verde .....	16
2.4. Bibliografia.....	18
 3. Aplicação Web .....	 19
3.1. Ferramentas e tecnologias .....	19
3.1.1. Escolha das tecnologias .....	19
3.1.2. Tecnologias utilizadas.....	20
3.1.3. Bibliotecas adicionais e funcionalidades .....	22

3.2. Construção da página .....	26
3.2.1. Estrutura do projeto Web .....	26
3.2.2. Esquema da página .....	27
3.3. Problemas/Solução .....	31
3.3.1. Acerto automático das equações .....	31
3.3.2. Busca de informação externa sobre os elementos .....	32
3.3.3. Internacionalização .....	34
3.4. Bibliografia .....	36
4. Usabilidade/Avaliação .....	37
4.1. Objetivo .....	37
4.2. Amostra .....	37
4.3. Metodologia .....	37
4.4. Avaliação e discussão .....	38
4.5. Bibliografia .....	41
5. Conclusões .....	42
6. Anexos .....	43
Anexo 1 – Frases de advertência de perigos .....	43
Anexo 2 – Critérios para classificação de perigos das substâncias .....	45
Anexo 3 – Fórmulas para cálculo de métricas .....	46
Anexo 4 – Questionário de usabilidade da Aplicação Web .....	47

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Os Doze Princípios da Química Verde .....	3
Tabela 2 – Perigos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas .....	13
Tabela 3 – Perigos de acidentes das substâncias envolvidas .....	14
Tabela 4 – Degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas.....	14
Tabela 5 – Critérios e pontuações para construção da Estrela Verde .....	15
Tabela 6 – Fórmulas para cálculo de métricas de massa .....	46
Tabela 7 – Fórmulas para cálculo de métricas de energia e tempo .....	46

## Índice de Figuras

Figura 1 – Estrela de verdura máxima.....	16
Figura 2 – Estrela de verdura mínima .....	16
Figura 3 – Círculo de verdura máxima .....	17
Figura 4 – Círculo de verdura mínima.....	17
Figura 5 - Diagrama da página Web .....	27
Figura 6 – Fluxograma representativo dos passos a percorrer pelo utilizador. ....	29
Figura 7 – Esquema de funcionamento das traduções.....	35
Figura 8 – Resultados da Avaliação Heurística.....	39



## Lista de Abreviaturas

AJAX	<i>Asynchronous JavaScript and XML</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
CV	Círculo Verde
DOM	<i>Document Object Model</i>
EV	Estrela Verde
IDE	<i>Interactive Development Environment</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
QV	Química Verde
Web	<i>World Wide Web</i>

## Anexos

Anexo 1 – Frases de advertência de perigos

Anexo 2 – Critérios para classificação de perigos das substâncias

Anexo 3 – Fórmulas para cálculo de métricas

Anexo 4 – Questionário de usabilidade da Aplicação Web

# 1. Introdução

## 1.1. Introdução à Química Verde

Com a publicação do livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson, em 1960 começaram a surgir as primeiras preocupações sobre os efeitos dos produtos químicos tóxicos no ambiente, dando origem a uma revolução em defesa do meio ambiente.<sup>[1]</sup> Estas preocupações conduziram, em 1970, à criação nos Estados Unidos da Agência de Proteção Ambiental *US Environmental Protection Agency (US EPA)* de modo a controlar as normas ambientais. Em 1985, durante uma reunião entre os Ministros do Ambiente dos países da OCDE (Organização para a Cooperação Económica e Desenvolvimento) focou-se três importantes temas: Desenvolvimento Económico e Meio Ambiente, Prevenção e Controle e Informações Ambientais e Análises Nacionais. Entre este encontro e 1990 foram apresentadas várias decisões/recomendações com vista ao incentivo de investigações para reduzir os riscos das substâncias químicas existentes assim como prevenir e controlar a poluição ambiental.<sup>[2]</sup>

Em 1990, a *US EPA* criou a Lei da Prevenção da Poluição<sup>[3]</sup> responsável pelo financiamento de projetos científicos e industriais destinado ao desenvolvimento de novas alternativas ambientais mais aceitáveis. Esta lei define a redução na fonte e estabelece uma hierarquia de prevenção da poluição:

### 1. Redução de origem e Prevenção de Riscos Químicos

- ▶ Conceção de produtos químicos menos perigosos para a saúde humana e o meio ambiente, ou seja, produtos menos tóxico para os organismos; menos prejudicial para os ecossistemas; não persistentes ou bioacumuláveis, em organismos ou no ambiente; inerentemente mais seguros de manusear e utilizar.
- ▶ Fabricação de produtos químicos a partir de matérias-primas, reagentes e solventes que são menos perigosos para a saúde humana e o meio ambiente.
- ▶ *Design* de sínteses e outros processos com reduzido ou até mesmo sem resíduos químicos.
- ▶ *Design* de sínteses e de outros processos que utilizam menos energia ou menos de água.
- ▶ Utilização de matérias-primas provenientes de recursos renováveis anualmente ou a partir de resíduos abundantes.

- ▶ Conceção de produtos químicos possíveis de serem reutilizados ou reciclados.
  - ▶ Reutilização ou reciclagem de produtos químicos.
2. Tratamento de produtos químicos para torná-los menos perigosos antes da eliminação.
  3. Eliminação de produtos químicos não tratados de forma segura e somente se outras opções não forem viáveis.

Em 1993 o programa US EPA adotou oficialmente o nome de *U.S. Green Chemistry Program* (Programa de Química Verde dos EUA). Desde a sua criação, o programa tem servido para premiar as inovações tecnológicas de diferentes sectores da produção industrial dentro dos Estados Unidos, como a *Presidential Green Chemistry Challenge Awards* e a conferência anual *Green Chemistry and Engineering Conference*.

Em meados de 1990, a Itália, através do Consórcio Universitário (INCA), apresentou uma pesquisa sobre a QV na área da prevenção da poluição, tentando desenvolver reações, processos e produtos mais limpos. No Reino Unido também se criaram programas de pesquisa e educação em QV, na mesma altura. Durante a última metade da década de 90, o Japão organizou a *Green and Sustainable Chemistry Network (GSCN)*, com destaque na promoção da investigação e desenvolvimento em QV e sustentável.

Os primeiros livros, publicações e simpósios sobre o tema da QV apareceram igualmente na década de 1990. A edição inaugural da revista *Green Chemistry*, patrocinado pela *Royal Society of Chemistry*, foi em 1999.

Em 1995 os Estados Unidos apresentaram o “*The Presidential Green Chemistry Challenge Award*” que visa premiar inovações tecnológicas que reduzam a produção de resíduos de diferentes sectores. Outros países, como por exemplo o Japão, Itália, Reino Unido e Austrália, também criaram prémios no âmbito da QV.

No ano de 1997 foi criado o “*Green Chemistry Institute*” (GCI), que atualmente atua em parceria com a Sociedade Americana de Química (“*American Chemical Society, ACS*”). Em setembro do mesmo ano a IUPAC (“*International Union for Pure and Applied Chemistry*”), promove a primeira conferência internacional em QV. Em Julho de 2001, em Veneza, foi aprovada a criação do *Sub-Comité Interdivisional* de “*Green Chemistry*” e em setembro do mesmo ano foi realizado um *workshop* sobre educação em QV.

Em 2001 ocorreu a Conferência CHEMRAWN XIV (“*The Chemical Research Applied To World Needs*”), realizada na Universidade do Colorado (EUA), que teve como tema “A Busca por Produtos e Processos Benignos ao Ambiente”. Este evento, organizado pela IUPAC, ACS e GCI, contou com mais de 140 trabalhos relacionados com o tema.

Em 1998 Anastas e Warner, no livro "*Green Chemistry, Principles and Practice*" [4], definiram conceitos, objetivos e linhas orientadoras da QV apresentando os Doze Princípios da Química Verde [5], descritos na Tabela 1, derivados de uma linha básica de orientação que se traduz resumidamente na conceção de produtos e processos ambientalmente benignos.

**Tabela 1 – Os Doze Princípios da Química Verde**

<b>Os Doze Princípios da Química Verde</b>
<p><b>Prevenção</b></p> <p>É melhor prevenir a formação de resíduos do que ter de tratá-los, depois de se terem criado, para eliminar as suas propriedades tóxicas.</p>
<p><b>Economia atómica</b></p> <p>Os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a maximizar a incorporação no produto final de todas as substâncias usadas ao longo do processo.</p>
<p><b>Sínteses menos perigosas</b></p> <p>Sempre que possível, os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a usar e produzir substâncias não tóxicas (ou pouco tóxicas) para a saúde humana e a ecossfera.</p>
<p><b>Planificação a nível molecular de produtos mais seguros</b></p> <p>Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo a cumprir as funções desejadas e a minimizar a sua toxicidade</p>
<p><b>Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras</b></p> <p>O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes para promover separações, etc.) deve ser evitado sempre que possível; quando usados, esses agentes devem ser inócuos.</p>
<p><b>Planificação para conseguir eficiência energética</b></p> <p>Deve-se reconhecer os impactos económicos e ambientais dos requisitos energéticos dos processos químicos e minimizá-los; quando possível, os métodos sintéticos devem ser realizados à temperatura e pressão ambientais ou próximas destas.</p>
<p><b>Uso de matérias primas renováveis</b></p> <p>Sempre que for técnica e economicamente praticável, devem-se usar matérias primas e recursos renováveis de preferência a não renováveis.</p>
<p><b>Redução das derivatizações</b></p> <p>Devem-se minimizar ou, se possível, evitar derivatizações (uso de grupos bloqueadores, de passos de proteção/desproteção, e de modificações temporárias na molécula para permitir processos físicos/químicos) porque tais etapas requerem reagentes adicionais e podem produzir resíduos.</p>
<p><b>Catalisadores</b></p> <p>Devem-se preferir reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) a reagentes estequiométricos.</p>
<p><b>Planificação para a degradação</b></p> <p>Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo que no fim do seu uso não persistam no ambiente e se decomponham em produtos de degradação inócuos.</p>
<p><b>Análise para a prevenção da poluição em tempo real</b></p> <p>Deve-se procurar usar métodos analíticos que permitam monitorização direta dos processos de fabrico em tempo real e controlo precoce da formação de substâncias perigosas.</p>
<p><b>Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes</b></p> <p>As substâncias usadas e as formas da sua utilização nos processos químicos de fabrico devem minimizar o potencial de ocorrência de acidentes químicos, tais como fugas, explosões e incêndios.</p>

Portugal também tem acompanhado o tema da QV. Em Novembro de 2001 foi criado o REQUIMTE<sup>[6]</sup> que é a maior rede de Química e Engenharia Química estabelecida em Portugal e é reconhecido como o Laboratório Associado para a Química Verde pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e do Ensino Superior.

Este estudo resultou da ideia de que seria útil disponibilizar na internet uma forma de calcular rapidamente um conjunto de métricas da QV que não tem um uso generalizado embora sejam muito importantes na avaliação da verdura química e com implicações na alteração de processos e operações para tornar a química mais sustentável. Grande parte dos artigos publicados que referem processos e sínteses mais verdes baseiam-se em avaliações parcelares de substituição de alguns reagentes por outros menos perigos mas não são calculadas métricas que permitam avaliar efeitos dessas alterações na verdura global.

## 1.2. Importância do ensino da Química Verde

A QV, tal como já foi referido, tem como principal objetivo a criação de produtos mais seguros e eficientes. Para isso é necessário que a indústria esteja sensibilizada para mudar a química industrial atual, responsável por grande parte da poluição ambiental, para uma química com rumo à sustentabilidade. A QV pode ser uma ferramenta importante se as indústrias adotarem um *design* verde na fabricação de produtos que pode resultar em benefícios económicos para as que implementarem essas boas práticas.

Para sustentar indústrias impulsionadas pelos princípios da QV é importante começar desde cedo com uma educação e formação nessa área. As escolas e universidades devem ser pioneiras na divulgação da QV, promovendo a integração do conceito da “Química Sustentável” na formação pessoal e profissional dos estudantes.

Alguns pontos importantes a incluir no ensino da QV<sup>[5]</sup> passam pelo:

- ▶ **Produto:** *Design* molecular de compostos intrinsecamente benignos; Relações entre estrutura e a atividade;
- ▶ **Síntese e Processo:** *Design* de vias de síntese mais simples e diretas; Eliminação/substituição de solventes; Catálise e biocatálise; Adoção de métricas dirigidas à conservação (economia atómica, etc.); Poupança/recuperação de energia;

- **Ambiente:** Substituição de matérias-primas não renováveis por renováveis; Atenção contínua à proteção do ambiente e da saúde da biosfera; Mentalização contra o uso de substâncias perigosas.

No ensino básico ou secundário o professor poderá explorar questões relacionadas com a verdura das experiências propostas. Poderá salientar e comparar não só as vantagens e desvantagens de diferentes técnicas utilizadas, como por exemplo a micro ou macro escala, mas também a necessidade do tratamento de resíduos resultantes das atividades e preocupações com os perigos que a utilização de diversos reagentes coloca, bem como a utilização de energia e tempo.

Foi realizado recentemente um estudo<sup>[7][8]</sup> sobre a verdura das atividades laboratoriais dos atuais programas de Química do 10º e 11º anos e concluiu-se que devem ser revistas ou substituídas, por serem problemáticas quanto à verdura, uma vez que uma percentagem significativa das experiências apresenta riscos elevados para a saúde e para o ambiente.

### 1.3. Objetivo da tese

A tese tem por objetivo construir uma aplicação Web, utilizando linguagens JavaScript, HTML e CSS, para facilitar a avaliação da verdura de reações químicas através de métricas de massa, de energia e de tempo da QV e das métrica holísticas Estrela Verde (EV) e Círculo Verde (CV).

### 1.4. Estrutura da tese

Esta tese está organizada em quatro capítulos, sendo o primeiro referente à introdução onde se apresenta um pouco de história da QV.

No capítulo 2 estão descritas as diversas métricas de avaliação de verdura, nomeadamente as métricas de massa, de energia, de tempo e as holísticas que são apresentadas na aplicação Web desenvolvida.

O capítulo 3 é dedicado ao desenvolvimento da aplicação Web explicando quais as ferramentas utilizadas e porquê bem como a metodologia de estruturação do projecto e da interface gráfica. São focados também os principais problemas que surgiram no decorrer do desenvolvimento e a abordagem tomada para os resolver.

O quarto capítulo é todo dedicado à apresentação sobre a avaliação da aplicação desenvolvida e à análise dos resultados obtidos.

## 1.5. Bibliografia

- [1] J. A. Linthorst, "An overview: origins and development of green chemistry," *Foundations of Chemistry*, vol. 12, pp. 55-68, 2010.
- [2] P. T. Anastas e T. C. Williamson, "Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry," *Acc. Chem. Res.*, vol. 35, pp. 686-694, 2002.
- [3] "EPA - United States Environmental Protection Agency," [Online]. Available: <http://www2.epa.gov/green-chemistry/basics-green-chemistry#ppa>. [Acedido em 07-09-2013].
- [4] P. T. A. e. J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.
- [5] A. A. S. C. Machado, "Química e Desenvolvimento Sustentável – QV, QUIVES, QUISUS," *Bol. S.P.Q.*, vol. 95, pp. 59-67, 2004.
- [6] "Requimte - Química Verde," [Online]. Available: <http://www.requimte.pt/index.php?section=1>. [Acedido em 07-09-2013].
- [7] D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro e A. A. S. C. Machado, "Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 10º Ano do Ensino Secundário," *Bol. S. P. Q.*, vol. 115, pp. 63-72, 2009.
- [8] D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro e A. A. S. C. Machado, "Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 11º Ano do Ensino Secundário," *Bol. S. P. Q.*, vol. 123, pp. 63-74, 2011.



## 2. Métricas de avaliação de verdura

A avaliação da verdura em QV é bastante complexa porque implica que, para se avaliar a verdura dos produtos químicos, reações e processos industriais de fabrico, modos de utilização, etc., se tenha de utilizar uma variedade de métricas. Inicialmente, podiam-se agrupar em dois tipos:<sup>[1]</sup>

- ▶ métricas de massa – destinadas a aferir a verdura química intrínseca das reações em termos do cumprimento dos dois primeiros dos seus Doze Princípios;
- ▶ métricas ambientais – métricas de avaliação da benignidade ambiental das reações e compostos, que resultam dos restantes princípios, de natureza operacional.

Uma vez que as métricas anteriores não conseguem verificar o cumprimento dos Doze Princípios da QV, surgiu a ideia de construir métricas holísticas que cobrissem todos os princípios aplicáveis em cada situação sob estudo:

- ▶ Estrela Verde <sup>[2]</sup> – métrica gráfica constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV em jogo no problema em análise, e em que o comprimento de cada ponta é tanto maior quanto melhor for o cumprimento do despectivo princípio.
- ▶ Circulo Verde <sup>[3]</sup> – métrica gráfica constituída por um círculo dividido em tantos setores quantos os princípios avaliados, em que os critérios de decisão são do tipo binário (cumprimento/não cumprimento de cada princípio).
- ▶ Matriz Verde <sup>[3]</sup> – métrica baseada na análise SWOT para avaliação de cumprimento de objetivos previamente definidos. Caracteriza-se pela identificação de pontos fortes e fracos do objeto em análise, que indicam os aspetos positivos e negativos, respetivamente, relativamente aos objetivos a atingir, definidos à partida.

Existem outras métricas holísticas para avaliação de verdura, como por exemplo, a *EcoScale*. Esta ferramenta de análise baseia-se na atribuição de um conjunto de penalizações nos seguintes parâmetros: rendimento, custo, segurança, condições e facilidade e *work-up* ou purificação.<sup>[2][4]</sup> A *EcoScale* apresenta algumas limitações uma vez que não tem em conta a segurança dos resíduos produzidos, a economia atómica, a utilização de substâncias renováveis e a degradabilidade das substâncias envolvidas. Além disso, o cálculo da *EcoScale* exige o valor do rendimento obtido e isto torna-se uma limitação.

## 2.1. Métricas de massa da Química Verde

As métricas de massa são métricas destinadas a aferir a verdura química intrínseca das reações em termos do cumprimento dos dois primeiros dos Doze Princípios da Química Verde.<sup>[1] [5]</sup> Estas métricas são métricas de produtividade atômica e consideram separadamente o que sucede aos átomos nas reações químicas quando passam dos reagentes para o produto final ou para resíduos, sendo desejável que vão parar predominantemente ao produto. Estas métricas podem dividir-se em dois tipos: métricas de minimização da produção de resíduos e métricas de incorporação dos átomos dos reagentes no produto.

### As Métricas de Minimização da Produção de Resíduos:

- **Fator E (“*Environmental factor*”)** – É definido como a razão entre a massa dos resíduos produzidos e a massa do produto. O valor ideal do Fator E é zero, que ocorreria se não houvesse produção de quaisquer resíduos.

$$Fator\ E = \frac{m_{resíduos\ totais}}{m_{produtos}}$$

- **Intensidade de Massa, MI (“*Mass intensity*”)** – É definida como a razão entre a massa total de materiais usados num processo (reagentes, solventes, outros materiais auxiliares) e a massa de produto obtido. O valor ideal é um.

$$MI = \frac{m_{reagentes\ totais}}{m_{produto}}$$

- **Intensidade de Solventes, SI (“*Solvent intensity*”)** – É definida como a razão entre a massa total de solventes utilizados e a massa de produto obtido. O valor ideal é zero.

$$SI = \frac{m_{solventes}}{m_{produto}}$$

### As Métricas de Incorporação dos Átomos dos Reagentes no Produto

- **Utilização Atômica Percentual, AU (*Atomic Utilization*)** – É definida como a razão entre a massa de produto e a soma das massas de todas as substâncias produzidas na reação (produtos e coprodutos) expressa em percentagem. O valor ideal seria de 100%.

$$AU = \frac{m_{produto}}{m_{produto} + m_{coprodutos}} \times 100$$

- **Economia Atômica Percentual, AE (*Atomic Economy*)** – É definida como a razão entre a massa de átomos de reagentes estequiométricos que são incorporados no produto desejado e a massa total de átomos nos reagentes estequiométricos, expressa em percentagem. O valor ideal seria de 100%.

$$AE \text{ (teórico)} = \frac{m_{\text{átomos de reagentes estequiométricos no produto}}}{m_{\text{total de átomos de reagentes estequiométricos}}} \times 100$$

- **Eficiência de Massa da Reação, RME (*Relative Mass Efficiency*)** – É definida como a razão entre a massa do produto efetivamente obtido e a massa total de reagentes estequiométricos usados na reação, expressa em percentagem. O valor ideal seria de 100%.

$$RME = \frac{m_{\text{produto}}}{m_{\text{reagentes estequiométricos}}} \times 100$$

- **Eficiência Elementar Percentual do elemento X, XEE (*Element (X) Efficiency*)** – É definida como a razão entre a massa do elemento no produto obtido e a massa do elemento nos reagentes estequiométricos, expresso em percentagem. O valor ideal seria de 100%.

$$EE(X) = \frac{m_{\text{X no produto}}}{m_{\text{X nos reagentes estequiométricos}}} \times 100$$

As métricas de massa podem ser calculadas através de cálculos estequiométricos, a partir das reações químicas, ou por via experimental, a partir de dados recolhidos no laboratório, mas como estes registos podem ser incompletos acabam por limitar o cálculo das mesmas.

## 2.2. Métrica energética e métrica de tempo

No contexto atual existe uma preocupação com a utilização de energia, tornando assim importante incluir essa avaliação no estudo das atividades laboratoriais, e consequentemente a avaliação do tempo gasto na execução das mesmas.

- **Métrica energética, EI (*Energetic Intensity*)** – É definida como a razão entre energia utilizada no procedimento e/ou operações realizadas e a massa de produto, expressa em Wh/g.

$$EI = \frac{Energia}{m_{produto}}$$

- **Métrica de tempo, TI (*Time Intensity*)** – É definida como a razão entre o tempo de procedimento e/ou operações realizadas e a massa de produto, expressa em min/g.

$$TI = \frac{Tempo}{m_{produto}}$$

## 2.3. Métricas holísticas – Estrela Verde e Círculo Verde

A avaliação da verdura é uma questão complexa. As métricas anteriores não conseguem avaliar simultaneamente os 12 Princípios da QV: as métricas de massa referem-se aos dois primeiros princípios, a métrica de energia ao sexto e toxicidade/métricas ambientais referem-se a vários dos 12 princípios. Pelo contrário, as métricas holísticas consideram simultaneamente os 12 Princípios da QV o que pode facilitar a seleção de experiências mais verdes.<sup>[6]</sup> Assim, para uma avaliação de verdura mais completa, as métricas de massa e as holísticas devem ser ambas estudadas.

De seguida vão ser descritas as duas métricas holísticas que são apresentadas na aplicação Web desenvolvida neste projeto.

### 2.3.1. Estrela Verde

A EV<sup>[2]</sup> é uma métrica holística que cobre todos os princípios da QV aplicáveis em cada situação sob estudo, de natureza gráfica, que permite comparações visuais fáceis. A métrica é constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV em jogo no problema em análise, e em que o comprimento de cada ponta é tanto maior quanto melhor for o cumprimento do respetivo princípio, de modo que a área verde da estrela é tanto maior quanto maior for a verdura global do processo químico em estudo. Em face da sua forma, a métrica foi designada pelo nome de “Estrela Verde (EV)” (Green Star, GS).

## **Construção das EV**

Para construir a EV <sup>[7]</sup> referente a uma experiência, é necessário avaliar o protocolo experimental para obter informações sobre:

- ▶ as condições de pressão e temperatura a que se realiza (avaliado pelo princípio P6);
- ▶ averiguar a existência de reagentes estequiométricos em excesso (avaliado pelo princípio P2);
- ▶ inventariar todas as substâncias intervenientes: reagentes, produtos, coprodutos obtidos, catalizadores, solventes, agentes de purificação, secantes e resíduos formados. Para cada uma destas substâncias, recolhe-se informação acerca dos perigos para a saúde humana e meio ambiente (avaliado pelos princípios P1, P3, P5 e P9) e acidente químico (avaliado pelo princípio P12) usados na rotulagem das embalagens dos compostos;
- ▶ informações sobre se constituem ou são obtidas de matérias-primas renováveis, bem como sobre a sua degradabilidade. (avaliado pelos princípios P7 e P10);
- ▶ a utilização de derivatizações ou de operações similares (avaliado pelo princípio P8).

Os perigos das substâncias envolvidas para a construção da EV são geralmente obtidos a partir de folhas de dados de segurança (*Safety Data Sheet* – SDS) e as pontuações são atribuídas de acordo com critérios pré-definidos. Estes critérios inicialmente eram baseados nos símbolos de perigo utilizados no sistema estabelecido pela União Europeia, a Diretiva 67/548/CEE, mas o *Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS) regulation (EC) No 1272/2008*, estabelecido por um mandato internacional aprovado em 1992 na *United Nations Conference on Environment and Development*, começou a ser utilizado em SDS. Para adaptar as métricas para este novo regulamento (GHS) foi necessário definir novos critérios. A utilização do GHS apresenta vantagens, tais como:

- ▶ a melhoria e vulgarização da SDS para a transmissão de perigos;
- ▶ uma avaliação mais sistemática dos perigos dos produtos químicos para uso em critérios de avaliação, devido ao aumento da sistematização de perigos na GHS;
- ▶ aumento do interesse na utilização de GHS no contexto laboratorial.

A regulamentação GHS classifica as substâncias e misturas de acordo com os seus perigos físicos, saúde humana e ambiente. Para cada um deles, as classes de perigo são estabelecidas as quais definem a natureza do perigo físico, saúde ou o ambiente.

Cada classe de perigo é dividida em várias categorias, que comparam a gravidade do perigo dentro de cada classe de perigo. Para cada classe de perigo e categoria são atribuídos símbolos de perigo (pictogramas – elementos gráficos destinados a transmitir informações de forma sucinta), palavras-sinal (uma palavra, perigo ou atenção, que indica o nível relativo de gravidade dos perigos) e advertências de perigo (frases que descrevem a natureza e o grau de perigo – Anexo 1), que são usados para caracterizar os perigos. As frases de perigo são representadas por códigos de perigo, composto por uma letra H e um número: 2 para físico, 3 para saúde e 4 para os perigos ambientais. Advertências de perigo adicionais, representadas por códigos de perigo compostas pelas letras EUH e um número, são utilizados em países da União Europeia (UE).

Para a construção da EV a cada substância é atribuída uma pontuação de 1 (benignidade máxima) a 3, de acordo com os perigos para a saúde humana e para o ambiente, e o perigo de acidentes que podem envolver, seguindo critérios que foram definidos tendo em vista o objetivo e a exequibilidade de utilização, tais como:

- ▶ se a palavra de sinalização nas frase de risco for "perigo", atribuiu-se o nível 3 ao código de perigo;
- ▶ no caso de perigos físicos, se a palavra for "atenção", atribuiu-se o nível 2 ao código de perigo;
- ▶ no caso de perigos para a saúde, se a palavra for "atenção", atribuiu-se o nível 2 ao código de perigo, com exceção de "mutagenicidade em células germinativas", "carcinogenicidade", "toxicidade reprodutiva" e "toxicidade específica para órgãos-alvo", à qual foi atribuído o nível 3, mesmo quando a palavra era só "advertência".
- ▶ No caso de riscos ambientais nenhum dos códigos de perigo apresentam a palavra de sinalização de "perigo", mas apenas a palavra "atenção" (H400, H410 e H420) ou nenhuma palavra de sinalização (H411, H412 e H413). Após a avaliação das advertências de perigo, atribuiu-se o nível 3 quando a palavra de sinalização é "tóxico" ou "muito tóxico para a vida aquática", e nível 2 para "prejudicial para a vida aquática". Atribuiu-se o nível 3 ao risco adicional "perigoso para a camada de ozono" (EUH059) e por uma questão de coerência a H420, "prejudica a saúde pública e o meio ambiente, destruindo o ozono na atmosfera superior".

- Para os perigos adicionais (códigos EUH), as advertências de perigo e a descrição de como as substâncias devem ser incluídos em cada uma delas, foram cuidadosamente avaliadas para atribuir os níveis. Assim atribuiu-se o nível 3 para perigos físicos quando se encontraram as seguintes expressões: "explosivo", "explosão", "reage violentamente" e "altamente inflamável"; nível 3 para perigos de riscos para a saúde, quando as expressões foram: "perigo", "corrosivo", "muito tóxico", "tóxico", "perigosa", ou com chumbo. Quando os efeitos são menos graves como "secura da pele ou fissuras", "reação alérgica", "pode tornar-se inflamável durante o uso" ou quando a palavra "atenção" for referido, atribuiu-se o nível 2.

A cada substância é atribuída uma pontuação de 1 (benignidade máxima) a 3, de acordo com os perigos para a saúde humana e para o ambiente, e o risco de acidentes que podem envolver, seguindo critérios que foram definidos tendo em vista o objetivo e a exequibilidade de utilização, e que são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Pontuam-se também as substâncias de acordo a sua degradabilidade e se são ou não matérias-primas renováveis, seguindo os critérios apresentados na Tabela 4. No caso das informações recolhidas não serem consistentes para algum dos aspetos, usa-se o valor mais penalizador, por razões de segurança. Para maior facilidade de utilização, apresenta-se no Anexo 2 uma tabela que apresenta todos os perigos por ordem numérica e com cores diferentes consoante se trata de perigos de saúde, físicos ou ambiente.

**Tabela 2 – Perigos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas**

	Perigos	GHS Advertência de perigo (H...)	P
Saúde	Toxicidade aguda, corrosão/irritação cutânea, lesões oculares /irritação ocular, sensibilização respiratória ou cutânea, mutagenicidade em células germinativas, carcinogenicidade, toxicidade reprodutiva, toxicidade para órgãos-alvo específicos, toxicidade por aspiração	H300, H301, H304, H310, H311, H314, H318, H330, H331, H334, H340, H350, H360, H370, H372	3
		H302, H312, H315, H317, H319, H332, H335, H336, H341, H351, H361, H362, H371, H373	2
		Nenhuma indicação	1
	Advertências de perigo adicionais	EUH029, EUH031, EUH032, EUH070, EUH071, EUH201, EUH202, EUH206, EUH207	
		EUH066, EUH201A, EUH203, EUH204, EUH205, EUH208	
		Nenhuma indicação	1
Ambiente	Toxicidade aguda e crónica para a vida aquática e camada de ozono	H400, H401, H410, H411, H420, EUH059	3
		H402, H412, H413	2
		Nenhuma indicação	1

**Tabela 3 – Perigos de acidentes das substâncias envolvidas**

Perigos		GHS Advertência de perigo (H...)	P
Saúde	Toxicidade aguda, corrosão/irritação cutânea, lesões oculares /irritação ocular, sensibilização respiratória ou cutânea, mutagenicidade em células germinativas, carcinogenicidade, toxicidade reprodutiva, toxicidade para órgãos-alvo específicos, toxicidade por aspiração	H300, H301, H304, H310, H311, H314, H318, H330, H331, H334, H340, H350, H360, H370, H372	3
		H302, H312, H315, H317, H319, H332, H335, H336, H341, H351, H361, H362, H371, H373	2
		Nenhuma indicação	1
		EUH029, EUH031, EUH032, EUH070, EUH071, EUH201, EUH202, EUH206, EUH207	3
	Advertências de perigo adicionais	EUH066, EUH201A, EUH203, EUH204, EUH205, EUH208	2
		Nenhuma indicação	1
Físico	Explosivos	H200, H201, H202, H203, H205	3
		H204	2
		Sem indicação	1
	Gases, aerossóis, líquidos e sólidos inflamáveis	H220, H222, H224, H225, H228 (category 1)	3
		H221, H223, H226, H228 (category 2)	2
		Sem indicação	1
	Gases comburentes	H270	3
		Sem indicação	1
		H271, H272 (category 2)	3
	Comburentes líquidos, sólidos	H272 (category 3)	2
		Sem indicação	1
		H240, H241, H242 (Type C & D)	3
	Substâncias e misturas auto-reativas e peróxidos orgânicos	H242 (Type E & F)	2
		Sem indicação	1
		H250	3
	Líquidos e sólidos pirofóricos	Sem indicação	1
		H251	3
		H252	2
	Substâncias e misturas suscetíveis de auto-aquecimento	Sem indicação	1
		H260, H261 (category2)	3
		H261 (category3)	2
	Substâncias e misturas que, em contacto com a água, libertam gases inflamáveis	Sem indicação	1
		H280, H281	2
		Sem indicação	1
	Gases sob pressão		

**Tabela 4 – Degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas**

Características	Critérios	P
Degradabilidade	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
	Não degradáveis mas que possam ser tratadas para obter degradação com produtos de degradação inócuos	2
	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
Renovabilidade	Não renováveis	3
	Renováveis	1

A EV é construída atribuindo a pontuação 1, 2 ou 3 (máximo de verdura) a cada um dos Doze Princípios da QV, de acordo com os critérios definidos na Tabela 5. No caso de não haver informações suficientes para pontuar algum dos princípios, atribui-se-lhe a pontuação 1, considerando a situação mais desfavorável ou de maior perigo.



**Tabela 5 – Critérios e pontuações para construção da Estrela Verde**

Princípios da QV	Critérios	P
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos (p=1, tabela 2)	3
	Resíduos que envolvam um perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva um perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 2)	1
P2 – Economia Atômica	Reações sem reagentes em excesso (<10%) e sem formação de coprodutos	3
	Reações sem reagentes em excesso (<10%) e com formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e sem formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e com formação de coprodutos	1
P3 – Sínteses Menos Perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas (p=1, tabela 2)	3
	As substâncias envolvidas apresentam um perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 2, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta um perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 2)	1
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas (p=1, tabela 1)	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem um perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 2, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve um perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 2)	1
P6 – Planificação para conseguir eficiência energética	Temperatura e pressão ambientais	3
	Pressão ambiental e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento	2
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura muito afastada da ambiental	1
P7 – Uso de matérias-primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis (p=1, tabela 4)	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água (p=1, tabela 4)	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água (p=3, tabela 4)	1
P8 – Redução das derivatizações	Não se usam derivatizações	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou operação semelhante	2
	Usam-se várias derivatizações ou operações semelhantes	1
P9 – Catalisadores	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos (p=1, tabela 2)	3
	Utilizam-se catalisadores que envolvem um perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 2)	2
	Utilizam catalisadores que envolvem um perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 2).	1
P10 – Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos (p=1, tabela 4).	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos (p=2, tabela 4).	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos (p=3, tabela 4).	1
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam um baixo perigo de acidente químico (p=1, tabela 3).	3
	As substâncias envolvidas apresentam um perigo moderado de acidente químico (p=2, tabela 3, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3).	2
	As substâncias envolvidas apresentam um perigo elevado de acidente químico (p=3, tabela 3).	1

A verdura máxima corresponde a uma pontuação de 3 em todos os princípios e a EV obtida tem uma área verde (máxima) correspondente a um Índice de Preenchimento da Estrela (IPE) igual a 100, conforme a que se apresenta na Figura 1. Uma reação terá verdura mínima quando a pontuação atribuída a cada princípio for igual a 1 e a estrela terá uma área verde mínima, com um IPE igual a zero como a que se apresenta na Figura 2.

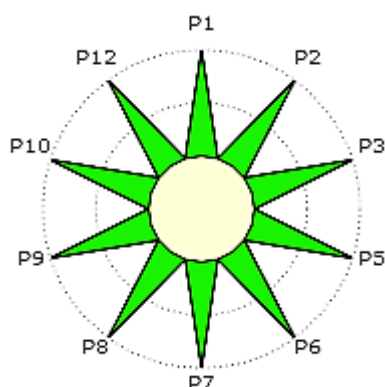


Figura 1 – Estrela de verdura máxima

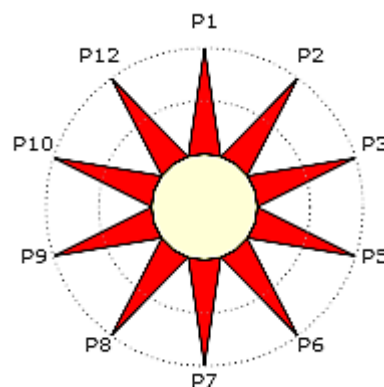


Figura 2 – Estrela de verdura mínima

Nestas figuras, a EV é representada apenas com dez dimensões, cada uma referente a um princípio da QV – os princípios 4 e 11 foram excluídos, já que no ensino não se costuma realizar a conceção de novos produtos químicos, à qual estes princípios se aplicam.

Uma vez que grande parte das atividades laboratoriais, presentes no programa de Química do 10 e 11º anos em Portugal, não envolvem reações de síntese, contruiu-se uma EV simplificada, em que se excluíram os princípios 2, 3, 8 e 9, pois estes são dirigidos à realização de reações de síntese.

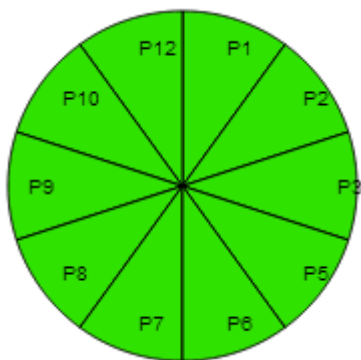
### 2.3.1. Círculo Verde

A EV é bastante útil na avaliação de verdura, mas em algumas situações pode-se tornar bastante trabalhosa. Assim surgiu a ideia de construir uma nova métrica holísticas – Círculo Verde (CV)<sup>[3] [7]</sup> – que cobre igualmente os princípios aplicáveis em cada situação sob estudo, de natureza gráfica, mas de implementação mais simples do que a EV.

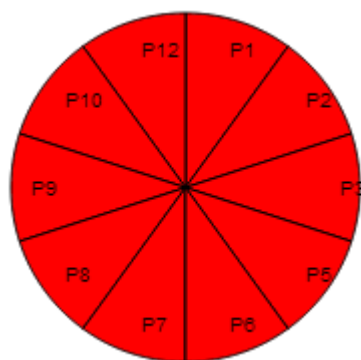
#### Construção dos CV

Para construir o CV referente a uma experiência, é necessário analisar previamente as condições de pressão e temperatura a que se realiza, averiguar se se usa reagentes estequiométricos em excesso e inventariar todas as substâncias intervenientes: reagentes, produtos, coprodutos obtidos, catalisadores, solventes, agentes de purificação, secantes e resíduos formados. Para cada uma destas substâncias, recolhe-se informação tal como se procede para a construção da EV como descrito anteriormente.

O CV é uma métrica gráfica que consiste num círculo dividido em tantos setores quantos os princípios avaliados, coloridos de verde e vermelho, conforme os respetivos princípios são cumpridos (pontuação 3, da Tabela 5) ou não (pontuação 1 ou 2). A apreciação desta métrica, feita visualmente, é muito simples: quanto mais preenchido de verde for o círculo, mais verde é a reação ou o processo avaliado. É ainda possível associar um Índice de Cumprimento dos Princípios (ICP) calculado como a percentagem de princípios cumpridos ( $100 \times \text{número de princípios cumpridos} / \text{número total de princípios que se aplicam}$ ). Quando todos os princípios são cumpridos  $\text{ICP} = 100$ , conforme a que se apresenta na Figura 3, quando nenhum é,  $\text{ICP} = 0$  como a que se apresenta na Figura 4.



**Figura 3** – Círculo de verdura máxima



**Figura 4** – Círculo de verdura mínima

## 2.4. Bibliografia

- [1] A. A. S. C. Machado, "Métricas da Química Verde - A Produtividade Atómica," *Bol. S. P. Q.*, vol. 107, pp. 47-55, 2007.
- [2] M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa e A. A. S. C. Machado, "Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reacções Laboratoriais – "Estrela Verde", "*Química Nova*, vol. 33, pp. 759-764, 2010.
- [3] G. T. C. Ribeiro e A. A. S. C. Machado, "Novas Métricas Holísticas para Avaliação da verdura de Reacções de Síntese em Laboratório," *Química Nova*, vol. 35, pp. 1879-1883, 2012.
- [4] K. V. Aken, L. Strekowski e L. Patiny, "EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and," *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 2006.
- [5] M. G. T. C. Ribeiro e A. A. S. C. Machado, "Greenness of chemical reactions – limitations of mass metrics," *Green Chemistry Letters and Reviews*, vol. 6, pp. 1-18, 2013.
- [6] M. G. T. C. Ribeiro e A. A. S. C. Machado, "Holistic Metrics for Assessment of the Greenness of Chemical Reactions in the Context of Chemical Education," *Journal of Chemical Education*, vol. 90, pp. 432-439, 2013.
- [7] M. G. T. C. Ribeiro, S. F. Yunes e A. A. S. C. Machado, "Upgrade of holistic graphic metrics to assess greenness of chemical reactions in the laboratory," 2013.

## 3. Aplicação Web

Neste capítulo é descrita a forma como foi pensado o desenvolvimento da aplicação quer em relação às ferramentas, quer à forma de apresentação. É feita uma síntese das tecnologias utilizadas e o porque das escolhas tomadas durante este desenvolvimento.

### 3.1. Ferramentas e tecnologias

#### 3.1.1. Escolha das tecnologias

Para uma aplicação deste tipo, com clara preocupação para a interação com o utilizador e para um processamento esporádico dos dados para efeitos de apresentação de gráficos e cálculos, optou-se por utilizar tecnologias Web (*World Wide Web*). Assim conseguiu-se desenvolver uma aplicação disponível através da internet, ao invés das aplicações desktop ou nativas para dispositivos móveis. O utilizador tem uma experiência de utilização mais imediata e sem nenhum tipo de entrave, bastando aceder ao endereço correto em qualquer dispositivo que suporte navegação Web.

Os dispositivos móveis também foram tidos em conta, apesar de não se ter feito nenhum tipo de desenvolvimento específico. No entanto, o facto de se utilizar o HTML/CSS e JavaScript, acrescenta-se a vantagem de, com algum cuidado a nível de construção do *frontend*, tornar a aplicação também utilizável neste tipo de dispositivos, sejam eles Android, IOS ou outros. Esta capacidade técnica consegue-se tendo vários CSSs para cada um dos diferentes tipos de dispositivos, ou melhor dizendo, para as diferentes resoluções disponíveis que for necessário suportar.

O facto de existir uma comunidade muito grande que suporta e desenvolve as linguagens usadas, garante a disponibilidade de bibliotecas gráficas utilizadas e também muita informação sobre como resolver problemas comuns que vão surgindo ao longo do desenvolvimento. Este último ponto foi bastante importante. A comunidade fornece fóruns, tutoriais e cursos *online* dedicados a estas tecnologias. Sempre que existe necessidade, estas páginas podem ser utilizadas para consulta de APIs, lições de programação, geração de código automático, no caso de CSSs, entre outro tipo de informação.

O projeto foi desenvolvido maioritariamente com recurso ao Eclipse. Inicialmente utilizou-se o SublimeText com alguns plugins para desenvolvimento, mas cedo se chegou à conclusão que o ideal seria utilizar o Eclipse e tirar partido da integração do mesmo com o plugin de controlo de versões SVN.

### 3.1.2. Tecnologias utilizadas

Atualmente quando se fala em tecnologias Web fala-se essencialmente em HTML, CSS e JavaScript. Estas três tecnologias situam-se do lado do cliente numa arquitetura cliente-servidor. É com este triângulo tecnológico que hoje em dia se implementam as páginas e aplicações web.

O HTML (*Hypertext Markup Language*) e o CSS (*Cascading Style Sheets*) são duas das principais linguagens para a construção de páginas Web.<sup>[1]</sup> No entanto, estas linguagens não são suficientes para mostrar a riqueza de experiência do utilizador e as funcionalidades que são apresentadas nos milhões de *websites* atuais. Sem recurso a mais nenhuma tecnologia, não se conseguiria animar elementos gráficos nem atualizar secções da página de forma não intrusiva. Também não se poderia trazer conteúdo disponível na Internet para a página, ou mesmo guiar o utilizador de forma inteligente para atingir um objetivo. O JavaScript<sup>[2]</sup> é a linguagem que proporciona a manipulação dinâmica do HTML/CSS e que fornece capacidade de processamento aos clientes aplicativos, vulgo os navegadores dos utilizadores da Internet hoje em dia.

Enquanto o HTML define a estrutura de uma página, o CSS proporciona o esquema visual e auditivo para uma variedade de dispositivos. O JavaScript, neste trio tecnológico, vem dinamizar a interação do utilizador com as páginas. É essa uma das suas funções, alterar a estrutura da página, aplicar diferentes CSS's ou segmentos mediante diferentes condições a áreas do HTML.

#### ► DOM

O DOM (*Document Object Model*)<sup>[3]</sup> é uma API (*Application Programming Interface*) para acesso e interação com documentos HTML. Os objetos de árvore DOM podem ser acedidos e manipulados utilizando métodos dos objetos.

Para formatar uma página HTML os navegadores web usam um modelo similar ao DOM. Os nós de cada documento são organizados numa estrutura em árvore chamada de Árvore do DOM sendo que o objeto de topo é o objeto Documento. Quando a página HTML é

apresentada, os navegadores Web descarregam o HTML para memória e constroem uma árvore DOM para formatar a página no ecrã. O DOM é também a forma como o JavaScript disponibiliza o estado do navegador em páginas HTML.

## ► HTML5

Sem detalhar a história do HTML desde os seus primórdios, surgiu em 2009 a versão mais atual do HTML, o HTML5. <sup>[4]</sup> Esta versão surgiu para colmatar deficiências de funcionalidades e dificuldade de implementação de processos. Estas dificuldades eram cada vez mais evidentes no HTML até porque outras linguagens Web, como o Flex, Silverlight, JAVA FX, etc., já os tinham ultrapassado há largos anos e não faria sentido que as linguagens base em que toda a internet está fundamentada não estivessem preparadas para estes desafios.

Com o aparecimento do HTML5, permitiu-se que os programadores Web pudessem utilizar primitivas gráficas (como linhas poligonais ou curvas) em canvases próprios, embeber conteúdo de vídeo e áudio. Para além destes avanços a nível gráfico, que são facilmente perceptíveis pelo utilizador final, também os programadores tiveram acesso a outras funcionalidades, sem a visibilidade imediata, mas que se refletem num código muito mais explícito e diminuto. A própria semântica teve alterações, bem como a linguagem de marcações. Apareceram novas *tags* como `<header>`, `<footer>`, `<nav>` que permitem que o programador especifique um cabeçalho, ou rodapé, ou blocos de links de navegação para o documento, respetivamente.

Em termos de dados houve avanços na área da cache do navegador. Anteriormente não era possível controlar experiências de navegação *offline*. Com as potencialidades do HTML5 o programador consegue definir que páginas podem ou não ser acessíveis enquanto se está *offline* e continuar a ter uma experiência semelhante a quando se está *online*. Também no tratamento e armazenamento de dados existe uma forma de armazenamento local (no navegador). A alternativa anteriormente existente, os *cookies*, tem alguns problemas de performance e tempo de resposta, bem como um limite à quantidade de informação que pode ser guardada. As bases de dados locais também retiram problemas de segurança associados aos *cookies*, pois a sua informação é transferida na rede em ambos os sentidos: servidor-cliente e vice-versa.

## ► JavaScript

Atualmente a grande maioria das páginas HTML integra também código JavaScript. O JavaScript é considerado uma linguagem de *scripting* e é considerado de alto nível porque o seu nível de abstração e detalhe de implementação é bastante alto. Todos os navegadores de referência interpretam esta linguagem, logo é a ferramenta de eleição para programação de páginas Web.

O JavaScript permite, entre outras funcionalidades, alterar dinamicamente a árvore DOM, ou seja, em determinadas condições, alterar a estrutura da página. O JavaScript pode processar a estrutura HTML previamente definida, seja a operação de remoção, construção ou alteração de estrutura. É através desta funcionalidade que se consegue alterar dinamicamente o *layout* de secções das páginas. Com recurso aos estilos definidos nos CSSs, o JavaScript consegue atribuir estilos a um grupo de elementos diferentes do HTML já carregados em memória. O navegador tem depois de processar o novo estilo atribuído e fazer refletir essas alterações para o utilizador.

Nos casos em que é necessário validar dados inseridos pelo utilizador, utiliza-se também o JavaScript. Em caso de dados inválidos existem várias formas de notificar o utilizador, sejam eles auditivos ou visuais.

É também através do JavaScript que se pode comunicar com o servidor. Para além de a página ser descarregada de um servidor Web, a própria página/aplicação em si, pode consultar informação sediada em diferentes fontes. Através de pedidos Ajax<sup>[5]</sup> (*Asynchronous JavaScript and XML*) consegue-se invocar serviços que estejam disponíveis. Esta tecnologia permite enviar e receber informação de forma assíncrona sem necessidade de reformatar integralmente a página e consequentemente, sem quebrar a experiência de utilização.

### 3.1.3. Bibliotecas adicionais e funcionalidades

Foram utilizadas algumas bibliotecas para facilitar o desenvolvimento desta aplicação. No entanto, sempre que possível, foi compreendido como as bibliotecas funcionam. Muitas das vezes, as bibliotecas foram introduzidas à posteriori, para tornar o código mais claro e conciso, e não como a base inicial do desenvolvimento.



## ► jQuery

O jQuery <sup>[6]</sup> <sup>[7]</sup> fornece funcionalidades comuns que necessitam de múltiplas linhas de código em JavaScript para as realizar, e encapsula-as em métodos que podem ser chamados por um único comando.

A biblioteca jQuery contém características bastante apelativas para os seus utilizadores, como por exemplo a facilidade de manipulação do DOM através de seletores de CSS e a manipulação dos próprios CSSs em si, sendo uma forma muito mais fácil de trabalhar com os eventos dos elementos de HTML. Parte do jQuery pode ser também considerado uma biblioteca gráfica porque estão disponíveis funcionalidades que suportam a implementação de efeitos e animações gráficas nos componentes HTML previamente definidos. Em termos de comunicação de dados facilita a implementação e processamento de chamadas Ajax através de uma panóplia de utilitários disponíveis na sua API.

Esta biblioteca, generalista em termos do vasto suporte de funcionalidades que oferece, justifica a sua utilização massiva nas páginas Web sendo mesmo a mais utilizada face às concorrentes. É, historicamente, uma das primeiras a surgir para o desenvolvimento Web.

## ► jQuery-Browser-Language

Um dos requisitos da aplicação é, por omissão, funcionar com a língua que estiver definida no navegador. Apenas através do JavaScript não é possível obter este tipo de informação. Esta biblioteca permite fazer um pedido a um serviço disponível num serviço externo<sup>1</sup> que retorna a língua pré-definida do navegador que fez o pedido.

## ► jquery-i18n-properties

Esta biblioteca é baseada em JavaScript e jQuery e serve o propósito de fornecer uma API para facilmente processar ficheiros com traduções. <sup>[8]</sup> Da pesquisa que foi efetuada não foi encontrado nenhum mecanismo melhor para realizar a internacionalização de uma página HTML sem processamento do lado do servidor. Todo o processamento realizado depende

---

<sup>1</sup>Mais informação em <http://ajaxhttpheaders.appspot.com>

única e exclusivamente do JavaScript a ser executado no navegador e em pedidos Ajax aos dicionários.

O mecanismo por detrás desta biblioteca é relativamente simples. É necessário um ficheiro por cada língua que se pretenda suportar. Estes ficheiros são o que vulgarmente se chamam de ficheiros de propriedades, ou seja, em cada linha o formato é o seguinte:

`<código> = <texto>`

Pretende-se que o código de uma determinada tradução seja o mesmo em todos os ficheiros. A única alteração é a língua em que o texto está escrito. À biblioteca, na sua inicialização, é dado um local, e com base nesta informação é feito um pedido Ajax ao mesmo domínio mas com o endereço diferente orientado para onde estão guardados os dicionários. Depois de descarregado o ficheiro, cada símbolo/código é processado e é criada uma variável global, no contexto global, com o mesmo nome do código. Para o programador, basta usar o código da tradução como uma variável, porque esta é automaticamente avaliada para a *string* definida no ficheiro que foi carregado.

## ► JSON

O JSON<sup>[9]</sup> é um formato de transferência de dados que utiliza a notação do JavaScript. É necessário, num determinado passo da aplicação, processar informação encapsulada neste formato e para isso utiliza-se a biblioteca de JSON nativa do JavaScript que pode ser utilizada através da invocação dos métodos disponíveis no objeto de contexto global do JavaScript JSON.

O único método que é necessário utilizar é o *parse()*, que recebe um parâmetro com a informação em formato de texto (JSON) e cria um objeto de JavaScript. O outro método relevante é o *stringify()* que faz precisamente o contrário, dado um objeto JavaScript transforma em texto com a notação JSON, no entanto não há necessidade de o utilizar.

## ► Google Charts

Para efeitos de apresentação de gráficos foi utilizada a biblioteca gráfica do Google Charts. Esta biblioteca permite apresentar diversos tipos de gráficos com elevado grau de parametrização.

A utilização desta biblioteca passa pela importação do script<sup>2</sup> e pela execução de métodos de inicialização e carregamento de tipos de gráficos. É também necessário ter de antemão uma *div* que serve como contendor do gráfico que irá ser dinamicamente desenhado. O elemento *div* é comumente usado para agrupar elementos para posteriormente aplicar um estilo por CSS.

A atribuição de dados ao gráfico, a sua parametrização e o desenho em si é tudo conseguido seguindo a API que está bem documentada num tutorial interativo<sup>3</sup>.

### ► **css3-breadcrumb-navigation**

O componente gráfico, utilizado para representar os passos aplicacionais e que serve para guiar o utilizador durante todo o seu percurso, foi baseado num código já existente. Este componente foi desenhado tendo como base uma cópia pública de um CSS<sup>4</sup>. Foi posteriormente alterado para suportar os requisitos que foram pedidos no decorrer do desenvolvimento desta aplicação. As alterações prenderam-se com a implementação de novos estados, tais como indisponível e atual, para além dos dois de origem que são os não visitados e visitados.

Para além do CSS foi também utilizado uma biblioteca com funções utilitárias. No entanto este script foi copiado para o projeto para minimizar a dependência do acesso à internet. Este código está protegido sob a licença MIT<sup>[10]</sup> que permite a utilização do script sem qualquer tipo de restrição, exceto a manutenção da própria referência à licença nas diversas cópias e utilizações que dela se façam.

### ► **StarGraph.js**

Designa-se daqui em diante a biblioteca gráfica elaborada pelo Professor José Paulo Leal por StarGraph. Esta biblioteca permite o desenho das Estrelas Verdes em elementos *canvas* pré declarados no HTML.

A biblioteca permite parametrizar as cores das estrelas de verdura mínima e de verdura máxima, definir as séries de valores que se refletem em pontas da estrela, a descrição de cada uma delas e ainda um título global para a estrela.

<sup>2</sup> Mais informação em <http://www.google.com/jsapi>

<sup>3</sup> Tutorial para construção do CV [https://developers.google.com/chart/interactive/docs/basic\\_draw\\_chart](https://developers.google.com/chart/interactive/docs/basic_draw_chart)

<sup>4</sup> CSS e biblioteca da Breadcrumb disponível em <http://thecodeplayer.com/walkthrough/css3-breadcrumb-navigation>

### ► chemical-equation-balancer-JavaScript.js

Para o acerto de reações químicas utilizou-se uma biblioteca desenvolvida por Nayuki Minase. Esta biblioteca está protegida por direitos de autor, no entanto, numa troca de *emails* com o autor, ele concordou em permitir utilizá-la no âmbito deste projeto que não tem nenhum tipo de fim comercial.

Tal como em casos anteriores, o script foi embebido no projeto para minimizar dependências de acesso à Internet. A sua utilização não tem qualquer tipo de inicialização bastando por isso importar no HTML onde for utilizada.

O principal objetivo é poder balancear reações químicas, ou seja, definir os coeficientes estequiométricos necessários para as reações desejadas. A API disponível e a interação com elementos HTML pré declarados estão descritas na página de ajuda do autor<sup>5</sup>.

## 3.2. Construção da página

### 3.2.1. Estrutura do projeto Web

O projeto foi desenvolvido maioritariamente com recurso ao Eclipse. Inicialmente utilizou-se o *SublimeText* com alguns *plugins* para desenvolvimento, mas cedo se chegou à conclusão que o ideal seria utilizar o Eclipse e tirar partido da integração do mesmo com o *plugin* de controlo de versões SVN. Com a criação de um projeto no Eclipse acabou-se por utilizar e seguir a estrutura base definida para os projetos Web.

A pasta base de ficheiros de configuração do projeto no Eclipse é uma pasta onde estão alojados todos os ficheiros da aplicação, a pasta *WebContent*. Esta última pasta está estruturada da seguinte forma:

- assets – recursos de media
- CSS – ficheiros CSS
- i18n – ficheiros com traduções
- js / libs – bibliotecas importadas
- js – scripts desenvolvidos durante este projeto

Esta estrutura é mais do que suficiente para um desenvolvimento desta dimensão e torna o ambiente de desenvolvimento perceptível e fácil de gerir.

<sup>5</sup> Página pessoal de Nayuki Minase disponível em <http://nayuki.eigenstate.org/page/chemical-equation-balancer-JavaScript>

### 3.2.2. Esquema da página

A Figura 5 mostra o esquema da página através de um diagrama, que identifica as principais áreas do interface com o utilizador. <sup>[11]</sup>

Seguidamente são descritas cada uma dessas áreas.

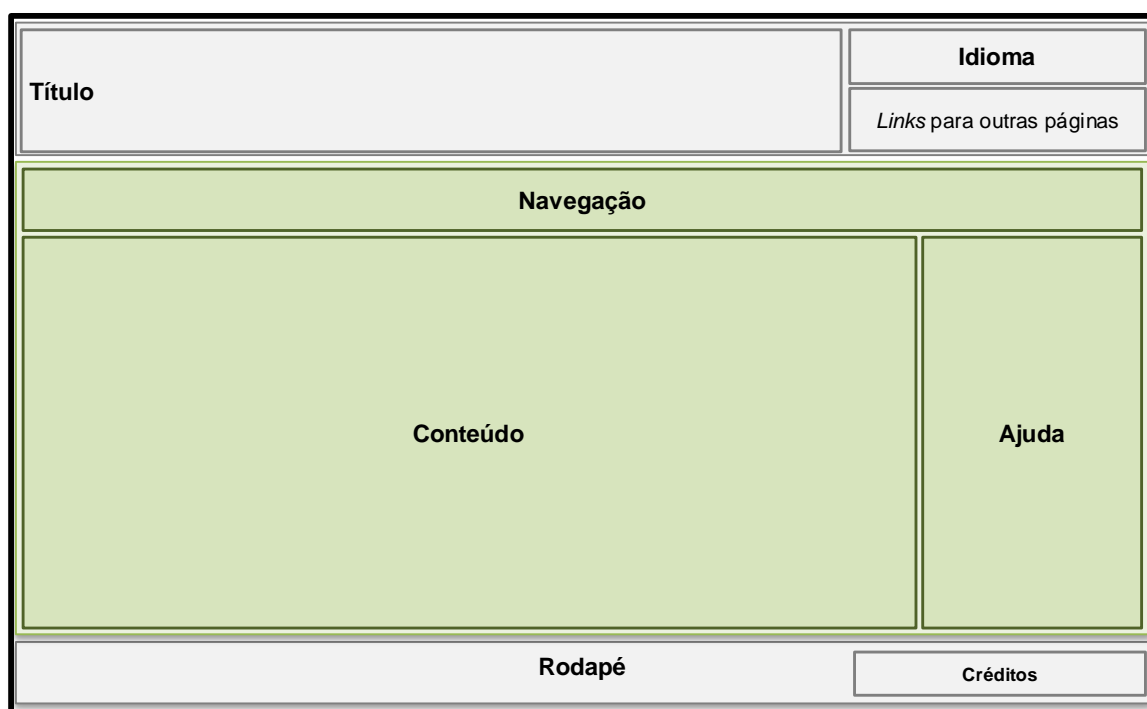


Figura 5 - Diagrama da página Web

#### ► Área aplicacional e área da página

O utilizador ao utilizar a aplicação está focado numa determinada área. Esta área designa-se por área aplicacional, enquanto a página no seu todo pode-se definir como a área da página. Esta divisão em duas grandes áreas, reflete-se também em dois diferentes HTMLs. A área da página é construída por um HTML estático com *layout* bem definido e que embebe em si outro documento através de um elemento IFRAME. Este segundo documento corresponde à área aplicacional e a estrutura do HTML é complementada em tempo de execução com uma estrutura criada dinamicamente através do JavaScript. Na figura acima apresentada pode-se ver claramente a distinção estando a área aplicacional representada a verde e a global a cinzento.

## ► Cabeçalho



O cabeçalho serve para identificar a aplicação Web e permite o acesso a *links* para páginas Web relacionadas com a QV. Nesta área encontra-se área de seleção de idioma que permite alternar entre português e inglês. Por omissão a língua da página será a pré-definida pelo navegador.

## ► Apresentação progressiva

Para guiar o utilizador até ao objetivo final implementou-se o conceito de apresentação progressiva no decorrer da experiência de utilização da aplicação. Este conceito consiste em dividir logicamente os passos que o utilizador tem de percorrer até aos resultados finais, como se pode ver na Figura 6. Além dos passos de inserção de dados são incluídos também alguns passos de apresentação de dados intermédios que podem ser meramente descritivos ou terem relevância para os passos seguintes.

Cada passo é claramente distinguido através de um título e de uma secção própria no elemento de navegação *breadcrumb* sempre presente no topo. A passagem para o passo seguinte pode ser efetuada através dos botões de navegação, mas apenas quando todos os dados necessários estiverem preenchidos. Caso este requisito não tenha sido cumprido a navegação fica bloqueada não permitindo que se avance.

Cada passo pode ter como objetivo apenas a inserção de dados ou a inserção e o resultado de cálculos com base nos dados previamente inseridos. A Figura 6 mostra um fluxograma que apresenta, de uma forma sucinta, os passos a percorrer pelo utilizador bem como os cálculos intermédios e a apresentação de dados até ao objetivo final.

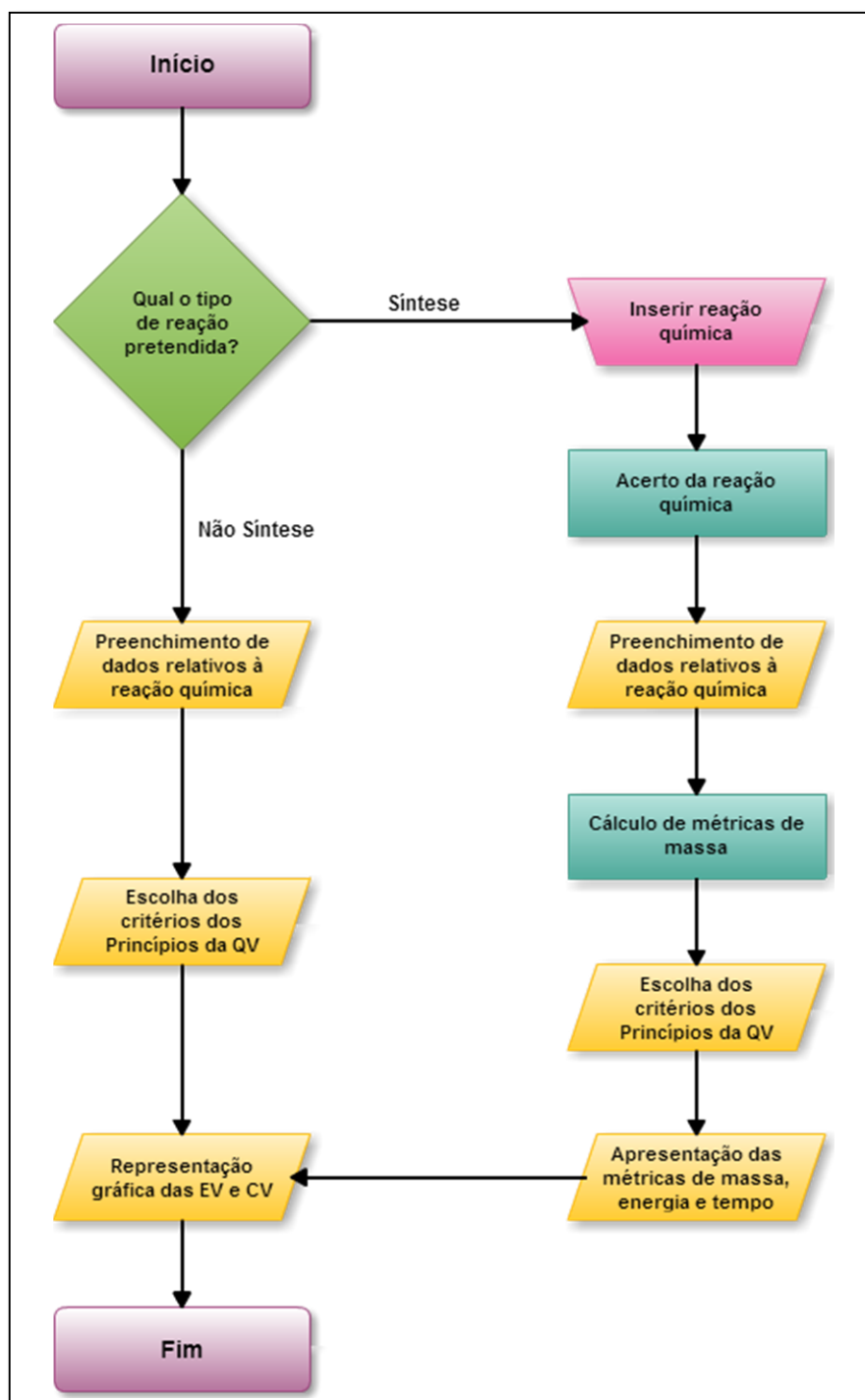


Figura 6 – Fluxograma representativo dos passos a percorrer pelo utilizador.

### ► **Breadcrumb**

O utilizador pode saber em que passo se encontra através do componente *breadcrumb* definido na área de navegação. Este componente gráfico tem como objetivo principal identificar claramente, numa sequência lógica de passos disponíveis, o passo concreto em que o utilizador se encontra. Adicionalmente, o componente reflete também um dos estados possíveis de cada passo.

- visitado – o utilizador já passou por este passo;
- não visitado – o utilizador ainda não passou por este passo;
- atual – o utilizador encontra-se neste momento neste passo;
- indisponível – mediante as condições atuais ou as escolhas já efetuadas, estes passos não fazem parte da sequência lógica.



Figura 7 – *Breadcrumb* da aplicação Web

Estes estados, como se pode ver na Figura 7, têm características visuais distintas de forma a fornecerem uma experiência clara de navegação ao utilizador. Para além da diferença de cor, também quando se representa o passo atual há uma alteração no tamanho da fonte e alteração da cor do texto com a cor de fundo por forma a permitir a sua diferenciação por parte de utilizadores daltónicos.

### ► **Botões de navegação**



Nos extremos do componente *breadcrumb* são apresentados os botões de navegação. Foram colocados antes e depois para dar a noção de que um é para navegar para o passo anterior e o outro para o passo posterior.

Nem sempre os botões estão disponíveis para serem utilizados. Nestes casos o botão aparece esbatido para representar o estado não disponível. O controlo sobre esta propriedade é feito dinamicamente mediante as condições que têm de se verificar em cada passo da aplicação. Se e só se todas os pré-requisitos estiverem verificados é que o botão de avanço fica disponível. Já o botão de regresso ao passo anterior está sempre disponível pois não está condicionado, com exceção do passo inicial, onde não se pode retroceder.



## ► Ajuda

Optou-se por ter uma área de ajuda aplicacional sempre visível. Desta forma o utilizador não tem de se preocupar em pedir a ajuda visto que ela existe sempre no canto direito da página. A cada passo da apresentação progressiva, esta área é ocupada com as instruções de preenchimento e os pré-requisitos que se esperam cumpridos no respetivo passo.

## ► Rodapé

No rodapé encontra-se uma área reservada aos direitos de autor. Área essa que pode ser expandida para serem visualizados todos os créditos atribuídos no decorrer desta aplicação.

## **3.3. Problemas/Solução**

No decorrer do desenvolvimento da aplicação surgiram alguns problemas de cariz técnico que tiveram de ser resolvidos. A seguir são descritos os problemas mais relevantes que foram ultrapassados para atingir os requisitos da aplicação.

### **3.3.1. Acerto automático das equações**

Um dos passos iniciais necessários para se alcançar a avaliação de verdura é fazer o acerto da reação química. Este processo passa por garantir que o mesmo número de átomos de um elemento é o mesmo em ambos os lados da equação. Para realizar o balanceamento, temos que colocar um número denominado coeficiente estequiométrico antes das substâncias químicas. Caso a substância não apresente nenhum número considera-se o 1 como coeficiente. Programaticamente este processo, apesar de compreensível, seria algo complexo de o executar. Felizmente existia já uma biblioteca JavaScript disponível para este efeito.

O *script* foi desenvolvido por Nayuki Minase<sup>6</sup>, tendo o autor permitido a sua utilização neste projeto. O script tem referências a objetos HTML, logo existe uma dependência a uma estrutura de página. Para ultrapassar este problema foi necessário utilizar os mesmos identificadores de HTML que o *script* referencia evitando deste modo alterar o código do *script*.

O *script* revelou-se acertado e eficaz e poupou bastante trabalho e testes sobre o mecanismo de balanceamento. Apenas uma área não está coberta pelo processo que diz respeito aos compostos hidratados e a reações químicas que possam ter mais do que uma solução de balanceamento. O próprio autor sabia dessas lacunas. Pode fazer parte de um trabalho futuro a implementação do balanceamento com compostos hidratados e a reações com mais do que uma hipótese de balanceamento.

### 3.3.2. Busca de informação externa sobre os elementos

No processo de cálculo da avaliação de verdura, existem dados que tem de ser inseridos, como por exemplo a massa molar dos elementos. De forma a melhorar a usabilidade da aplicação foi necessário minimizar o processo de inserção de dados pelo utilizador. O problema foi ter de se importar uma estrutura de dados que traduzisse a massa atómica relativa de todos os elementos da tabela periódica e por conseguinte, processar as fórmulas encontradas na reação para somar as massas de todos os elementos. Para evitar este trabalho procurou-se um serviço externo que calculasse a massa molar dado a fórmula química. Existem alguns serviços deste tipo, uns apenas acessíveis através das próprias páginas web e outros não, como é o caso do que atualmente é utilizado<sup>7</sup>. Este último tem um serviço que pode ser invocado num pedido Ajax, facilitando o tratamento da informação retornada.

Exemplo de invocação ao URL do serviço:

<http://www.chemcalc.org/chemcalc?mf=<FORMULA>>

onde <FORMULA> deve ser substituído pela fórmula desejada.

Esta estrutura não está documentada na página Web e teve de ser reconhecida com recurso à avaliação de vários pedidos.

<sup>6</sup> <http://nayuki.eigenstate.org/page/chemical-equation-balancer-JavaScript>

<sup>7</sup> Acertos das equações utilizando <http://www.chemcalc.org/>

Exemplo da resposta JSON apresentada de forma estruturada:

```
{
  "parts": [{
    "msem": 18.010565,
    "unsaturation": 0,
    "em": 18.010565,
    "mw": 18.01528,
    "mf": "H2O",
    "ea": [{
      "element": "H",
      "percentage": 11.189834,
      "number": 2
    }, {
      "element": "O",
      "percentage": 88.810166,
      "number": 1
    }]
  }],
  "em": 18.010565,
  "mw": 18.01528,
  "mf": "H2O",
  "options": {
    "typedResult": false,
    "gaussianWidth": 10,
    "gaussianResolution": 0.01,
    "resolution": 0.001,
    "mf": "H2O",
    "threshold": 1.0E-5
  }
}
```

A cada resposta é possível obter a massa molar através do objeto JavaScript. Existe muito mais informação que apesar de não ter sido utilizada pode sê-lo em trabalhos futuros que assim o requeiram.

Caso o serviço esteja inacessível a aplicação alerta o utilizador através de uma caixa de diálogo com uma mensagem apropriada.

Para trabalho futuro pode-se retirar esta dependência do serviço externo e implementar, como já foi referido, uma estrutura de dados que represente todos os elementos da tabela periódica com a informação desejada associada e posteriores funções de JavaScript que operam sobre essa mesma informação de forma a fornecer dados complexos como é o caso da massa molar que se está a utilizar.

### 3.3.3. Internacionalização

Um dos problemas que surgiu de imediato ainda antes do início do desenvolvimento foi o facto de conseguir ter um mecanismo que possibilitasse a apresentação da página em diversas línguas.

Outro requisito foi que, por omissão, a aplicação deve funcionar com a língua que estiver definida no navegador. Neste tipo de aplicação que corre apenas no navegador e não tem nenhuma parte de servidor, não é de todo possível através do JavaScript obter este tipo de informação.

Para se conseguir cumprir este requisito, utilizou-se uma biblioteca JavaScript jQuery-Browser-Language que consegue obter esta informação através de um simples pedido a um serviço externo. Na sua resposta tem-se os valores pretendidos devolvidos. O modo de operação da biblioteca está descrito mais em detalhe na secção 3.1.3.

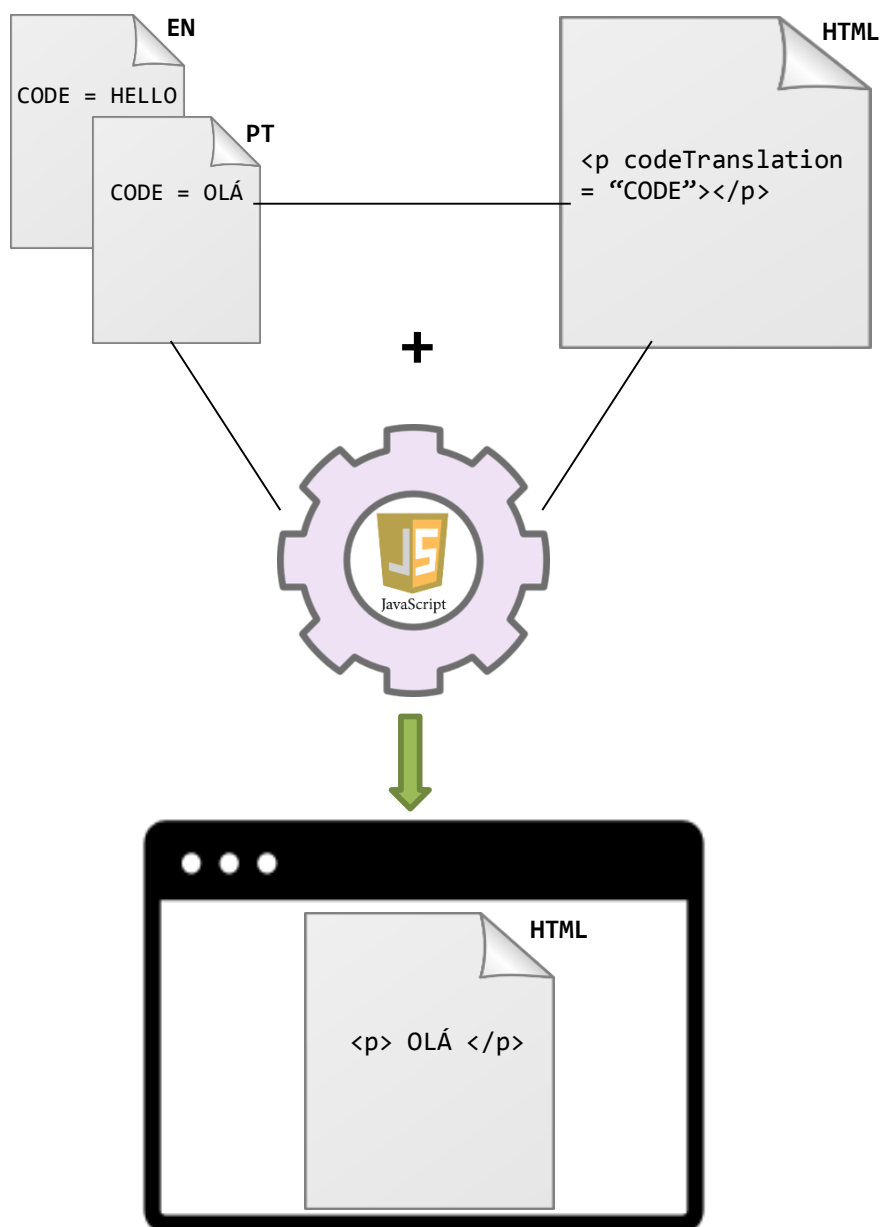
Dadas as tecnologias escolhidas, a forma mais simples de conseguir este mecanismo de traduções seria ter diversos ficheiros HTML e carregá-lo sempre que o utilizador mudasse de língua. Esta não podia sequer ser uma abordagem a ter em conta porque a cada carregamento de um novo HTML os dados já introduzidos e os passos percorridos teriam de ser de alguma forma persistidos.

Existem linguagens que possuem *templates* definidos para a aplicação que depois se complementam com os dados, no entanto o objetivo era não ter nenhuma tecnologia de servidor, por isso também foi descartado como solução.

A solução encontrada passou pela implementação de um mecanismo baseado na biblioteca de JavaScript, jquery-i18n-properties, já referida na secção 3.1.3, que permite o carregamento dinâmico de ficheiros de dicionários e que transforma cada entrada do dicionário numa variável acedida por JavaScript. Com esta solução abriu-se um precedente que foi o de que a aplicação terá que estar disponível num *Web Server* e *online* porque os pedidos aos dicionários são feitos via Ajax, não conseguindo assim correr a aplicação diretamente do sistema de ficheiros.

Tecnicamente a solução implementada foi a de criar um atributo novo “codeTranslation” nos elementos HTML onde se quer que o valor dessa tradução seja escrito entre as *tags* do elemento. Depois dá-se instruções ao JavaScript para carregar um dicionário específico dado a língua pretendida e quando o carregamento termina existe um processo em JavaScript que

percorre os elementos da página e processa os elementos com o atributo “codeTranslation” escrevendo dinamicamente entre as suas *tags* o valor da correspondente à variável com o mesmo nome do código, tal como se apresenta na Figura 8:



**Figura 8** – Esquema de funcionamento das traduções

Assim consegue-se um mecanismo de traduções que, apesar de limitado cobre a maioria das necessidades encontradas para esta aplicação. Quando é necessário implementar traduções de uma forma que não se enquadra na mencionada pode-se fazer recorrendo à API da biblioteca e implementando funções de JavaScript específicas.

### 3.4. Bibliografia

- [1] "World Wide Web Consortium (W3C)," [Online]. Available: <http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [2] "World Wide Web Consortium (W3C)," [Online]. Available: [http://www.w3schools.com/js/js\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/js/js_intro.asp). [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [3] "World Wide Web Consortium (W3C)," [Online]. Available: <http://www.w3.org/DOM/>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [4] "HTML 5 ARENA," [Online]. Available: <http://www.html5arena.com/blog/html5/10-major-advantages-of-html5/>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [5] "WROX," [Online]. Available: <http://www.wrox.com/WileyCDA/Section/id-303217.html>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [6] "Wikipedia," [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/JQuery>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [7] "W3 Schools," [Online]. Available: [http://www.w3schools.com/jquery/jquery\\_intro.asp](http://www.w3schools.com/jquery/jquery_intro.asp). [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [8] "GitHub," [Online]. Available: <https://github.com/dansingerman/jquery-Browser-Language>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [9] [Online]. Available: <http://www.json.org/>. [Acedido em 12 09 - 2013].
- [10] "Wikipedia," [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/MIT\\_License](http://en.wikipedia.org/wiki/MIT_License). [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [11] "UXmatters," [Online]. Available: <http://www.uxmatters.com/mt/archives/2007/03/wireframing-with-patterns.php>. [Acedido em 16 - 09 - 2013].

## 4. Usabilidade/Avaliação

### 4.1. Objetivo

O objetivo deste capítulo passa por avaliar a aplicação utilizando um questionário sobre a usabilidade da aplicação. Os questionários são ferramentas úteis na avaliação da interação entre utilizador e a aplicação já que permitem a recolha de informação sobre a qualidade da interface e os problemas encontrados durante a sua utilização. Estas informações são tão importantes quanto a performance da aplicação, e não podem ser obtidas de outra forma que não a de questionar os utilizadores.

### 4.2. Amostra

A amostra foi recolhida entre professores de Física e Química que estão a par da necessidade de um ensino voltado para sustentabilidade e que utilizam o cálculo de métricas para avaliação de verdura, mas utilizando documentos Excel para esse efeito. A faixa etária dos inquiridos situa-se entre os 25 e aos 48 anos.

### 4.3. Metodologia

A metodologia utilizada foi a aplicação da Avaliação Heurística desenvolvida por Jakob Nielsen e Rolf Molich que é definida como o processo de encontrar problemas da usabilidade de uma aplicação Web com o utilizador, confrontando-o com regras (heurísticas) bem conhecidas. Desse processo resulta uma classificação baseada no cumprimento dessas regras. A usabilidade é o termo usado para descrever a qualidade da interação dos utilizadores com uma determinada aplicação e pode ser definida por cinco princípios de qualidade<sup>[1]</sup>:

- ▶ facilidade de aprendizagem;
- ▶ facilidade de lembrar como realizar uma tarefa após algum tempo;
- ▶ rapidez no desenvolvimento de tarefas;
- ▶ baixa taxa de erros;
- ▶ satisfação subjetiva do utilizador.

Nielsen criou uma lista com as dez melhores heurísticas para identificar problemas de usabilidade da interface <sup>[2]</sup>:

- ▶ Visibilidade do estado do sistema – O sistema deve sempre Informar o utilizador do que se está a passar.
- ▶ Correspondência entre o sistema e o mundo real – O sistema deve usar uma linguagem familiar para o utilizador. Informações devem aparecer numa ordem natural.
- ▶ Liberdade e controlo do sistema pelo utilizador – Verifica se o sistema tem uma estrutura de navegação clara e consistente e se o utilizador pode recuperar de erros de navegação.
- ▶ Consistência e padrões – A interface deve usar cores consistentes, nomes de operações e layout.
- ▶ Prevenção de erros – Evitar que o utilizador efetue erros durante as suas tarefas.
- ▶ Reconhecimento em vez de memorização – Os objetos, ações e indicações do sistema devem estar visíveis e serem fáceis de identificar.
- ▶ Flexibilidade e eficiência de utilização – Permissão para que o utilizador personalize ações frequentes.
- ▶ Estética e design minimalista – As informações apresentadas devem ser relevantes.
- ▶ Ajudar a reconhecer/diagnosticar/recuperar erros – As mensagens de erro devem ser claras, indicando com precisão o problema e sugerir uma solução.
- ▶ Ajuda e documentação – A ajuda e documentação devem estar sempre disponíveis.

Nielsen chegou a conclusão que o processo pode ser realizado por um pequeno conjunto de avaliadores (3 a 5) uma vez que não se ganha muito mais informação com um número superior <sup>[3]</sup>.

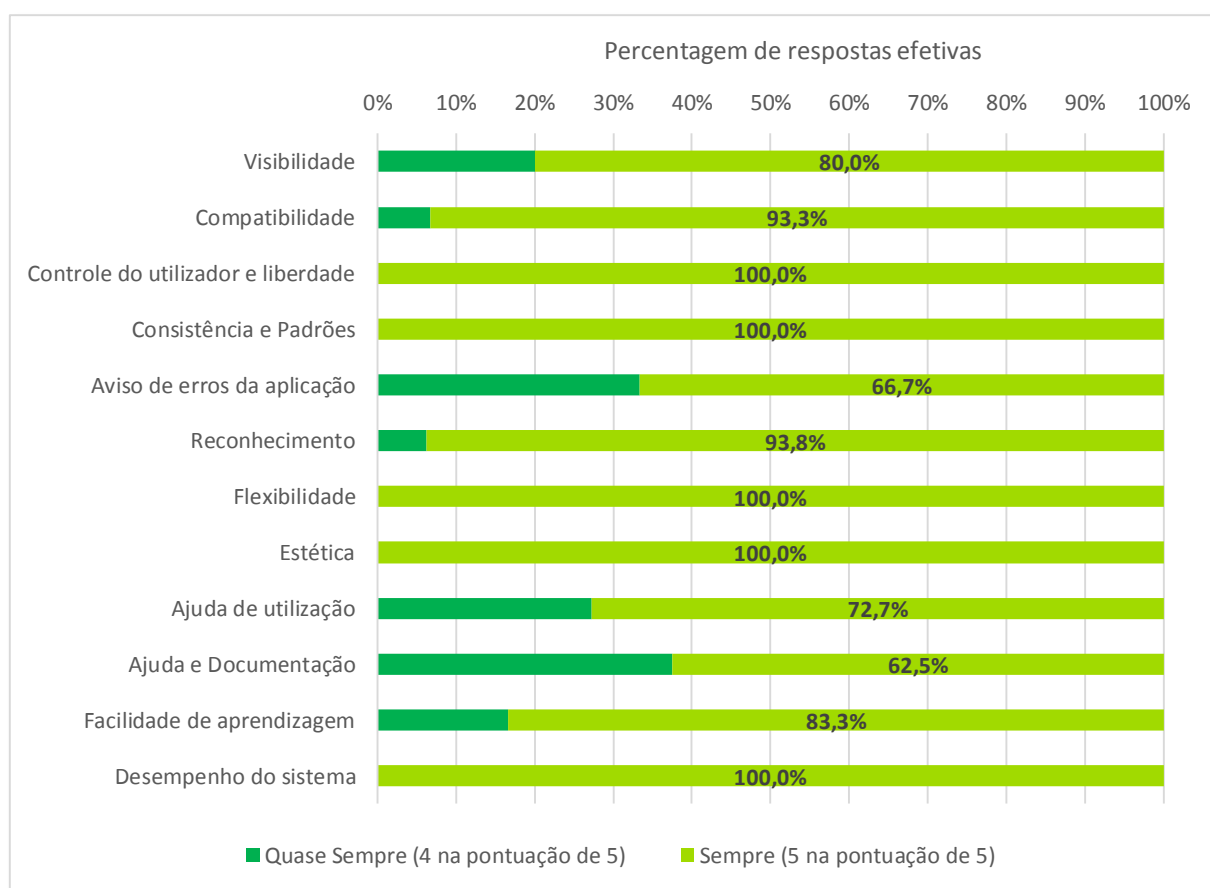
#### **4.4. Avaliação e discussão**

A avaliação da usabilidade baseou-se nos resultados de um questionário, que se encontra no Anexo 4, e consiste num sistema de respostas de escolha múltipla elaborado com base no conjunto de heurísticas indicadas na secção anterior. O questionário foi respondido por quatro avaliadores. A Figura 9 representa o gráfico com as percentagens de cada heurística e os resultados foram processados da seguinte forma:



- ▶ Para cada grupo de perguntas as respostas possíveis:
 

1 – Nunca	2 – Quase nunca	3 – Regular
4 – Quase sempre	5 – Sempre	6 – Não se aplica
- ▶ O número total de respostas efetivas foram calculadas subtraindo as respostas “Não se aplica” do número de respostas totais.
- ▶ Retiraram-se as repostas "Nunca", “Quase Nunca” e "Regular", visto que nenhum avaliador as usou na classificação.
- ▶ A percentagem das respostas "Quase sempre" e “Sempre” é calculada com base nas respostas efetivas.



**Figura 9** – Resultados da Avaliação Heurística

Da análise do gráfico depreende-se que os problemas mais focados relativos à aplicação prendem-se com os avisos de erros e de ajuda de utilização. No que concerne aos erros, a grande maioria dos avaliadores considerou como resposta “Não se aplica”, dado que não há muita margem para os utilizadores cometerem erros. No que diz respeito à ajuda, dois avaliadores referiram que o registo de reagentes auxiliares e solventes não estava claro e que

a ajuda não fazia referência a esse ponto. Para minimizar este problema já se procedeu à alteração da tabela e à atualização da ajuda, por sugestão dos avaliadores. Sobre o nível de confiança, que é um dos pontos mais importantes desta aplicação, todos os avaliadores, sem exceção, responderam que os resultados das métricas eram os esperados.

Apesar da aplicação não ter apresentado pontos negativos, os avaliadores sugeriam a possibilidade de se poderem gravar os dados das métricas e imagens das EV e CV para posterior utilização em outros programas. Esta possibilidade ainda não foi integrada na aplicação mas será introduzida rapidamente.

Em resposta à avaliação global da aplicação sobre a Avaliação da Verdura e considerando todos os parâmetros anteriores, todos os avaliadores responderam que é "Muito boa" com exceção de um, que a avaliou como sendo "Boa". As razões para esta última classificação, deveu-se a aspetos que foram melhorados de acordo com as sugestões apresentadas.

## 4.5. Bibliografia

- [1] "Nielsen Norman Group," [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [2] "Nielsen Norman Group," [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].
- [3] "Nielsen Norman Group," [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>. [Acedido em 12 - 09 - 2013].

## 5. Conclusões

O objetivo que foi proposto de desenvolvimento de uma aplicação Web que tornasse o processo de avaliação de verdura muito mais fácil para o utilizador final foi cumprido. A aplicação está disponível através da página Educa<sup>8</sup>, e pode ser acedida de qualquer dispositivo com acesso à internet.

A aplicação vem facilitar o cálculo da verdura principalmente por tornar automáticos alguns processos, tais como, o do cálculo de métricas de massa, energia, tempo e holísticas, a seleção de alguns princípios da EV, nomeadamente o P1, P3, P5 e P12, e o próprio desenho da estrela e do círculo. O utilizador vê assim facilitada esta tarefa desde que insira os dados necessários para o cálculo final, ou seja, a reação química, as substâncias envolvidas na atividade e respetivas massas e perigos.

Esta aplicação pode contribuir para uma maior incorporação da Química Verde no ensino da química, quer do ensino Secundário quer do ensino superior, ao facilitar a utilização de métricas diminuindo a morosidade dos seus cálculos bem como a divulgação do seu uso.

A incorporação da Química Verde no ensino da química é urgente já que a implementação da Química Verde é crucial para avançar para um desenvolvimento sustentável.

### **Passos futuros:**

- ▶ Implementação do balanceamento com compostos hidratados e de reações com mais do que uma hipótese de balanceamento.
- ▶ Conseguir efetuar cálculos sem recurso a serviços externos como por exemplo calcular a massa molar.
- ▶ Se os resíduos coincidirem com algumas substâncias já inseridas, preencher automaticamente os perigos.
- ▶ Dar a possibilidade de colocar no *clipboard* ou exportar como imagem cada uma das estrelas ou círculos, para posterior inclusão noutros documentos.
- ▶ Realização de vídeos de ajuda.

---

<sup>8</sup> Acessível em: <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>

## 6. Anexos

### Anexo 1 – Frases de advertência de perigos

Código	Frase de Perigo
H200	Explosivo instável.
H201	Explosivo; perigo de explosão em massa.
H202	Explosivo; perigo grave de projeções.
H203	Explosivo; perigo de incêndio, sopro ou projeções
H204	Perigo de incêndio ou projeções
H205	Perigo de explosão em massa em caso de incêndio
H220	Gás extremamente inflamável.
H221	Gás inflamável.
H222	Aerossol extremamente inflamável.
H223	Aerossol inflamável.
H224	Líquido e vapor extremamente inflamáveis.
H225	Líquido e vapor facilmente inflamáveis.
H226	Líquido e vapor inflamáveis.
H227	Líquido combustível.
H228	Sólido inflamável.
H229	Recipiente sob pressão: pode explodir se aquecido
H230	Pode reagir explosivamente, mesmo na ausência de ar.
H231	Pode reagir explosivamente, mesmo na ausência de ar a uma pressão e/ou temperatura elevada.
H240	Risco de explosão sob a ação do calor.
H241	Risco de explosão ou de incêndio sob a ação do calor.
H242	Risco de incêndio sob a ação do calor.
H250	Risco de inflamação espontânea em contacto com o ar.
H251	Suscetível de auto-aquecimento: risco de inflamação.
H252	Suscetível de auto-aquecimento em grandes quantidades: risco e inflamação.
H260	Em contacto com a água liberta gases que se podem inflamar espontaneamente.
H261	Em contacto com a água liberta gases inflamáveis.
H270	Pode provocar ou agravar incêndios; comburente.
H271	Risco de incêndio ou de explosão; muito comburente.
H272	Pode agravar incêndios; comburente.
H280	Contém gás sob pressão; risco de explosão sob a ação do calor.
H281	Contém gás refrigerado; pode provocar queimaduras ou lesões criogénicas.
H290	Pode ser corrosivo para os metais.
H300	Mortal por ingestão.
H301	Tóxico por ingestão.
H302	Nocivo por ingestão.
H303	Pode ser nocivo por ingestão.
H304	Pode ser mortal por ingestão e penetração nas vias respiratórias.
H305	Pode ser nocivo por ingestão e penetração nas vias respiratórias.
H310	Mortal em contacto com a pele.
H311	Tóxico em contacto com a pele.
H312	Nocivo em contacto com a pele.
H313	Pode ser nocivo em contacto com a pele.
H314	Provoca queimaduras na pele e lesões oculares graves.
H315	Provoca irritação cutânea.
H316	Provoca irritação cutânea moderada.
H317	Pode provocar uma reação alérgica cutânea.
H318	Provoca lesões oculares graves.
H319	Provoca irritação ocular grave.
H320	Provoca irritação ocular.
H330	Mortal por inalação.
H331	Tóxico por inalação.
H332	Nocivo por inalação.
H333	Pode ser nocivo por inalação.
H334	Quando inalado, pode provocar sintomas de alergia ou de asma ou dificuldades respiratórias.
H335	Pode provocar irritação das vias respiratórias.
H336	Pode provocar sonolência ou vertigens.
H340	Pode provocar anomalias genéticas (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).

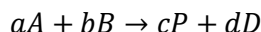
H341	Suspeito de provocar anomalias genéticas (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H350	Pode provocar cancro (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H351	Suspeito de provocar cancro (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H360	Pode afetar a fertilidade ou o nascituro (indicar o efeito específico se este for conhecido) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H361	Suspeito de afetar a fertilidade ou o nascituro (indicar o efeito específico se este for conhecido) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H362	Pode ser nocivo para as crianças alimentadas com leite materno.
H370	Afeta os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H371	Pode afetar os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H372	Afeta os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) após exposição prolongada ou repetida (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H373	Pode afetar os órgãos (ou indicar todos os órgãos afetados, se forem conhecidos) após exposição prolongada ou repetida (indicar a via de exposição se existirem provas concludentes de que o perigo não decorre de nenhuma outra via de exposição).
H400	Muito tóxico para os organismos aquáticos.
H401	Tóxico para os organismos aquáticos.
H402	Nocivo para os organismos aquáticos.
H410	Muito tóxico para os organismos aquáticos.
H411	Tóxico para os organismos aquáticos com efeitos duradouros.
H412	Nocivo para os organismos aquáticos com efeitos duradouros.
H413	Pode provocar efeitos nocivos duradouros nos organismos aquáticos.
H420	Prejudica a saúde pública e o ambiente ao destruir o ozono na alta atmosfera.
EUH001	Explosivo no estado seco.
EUH006	Perigo de explosão com ou sem contacto com o ar.
EUH014	Reage violentamente em contacto com a água.
EUH018	Pode formar mistura vapor-ar explosiva/inflamável durante a utilização.
EUH019	Pode formar peróxidos explosivos.
EUH029	Em contacto com a água liberta gases tóxicos.
EUH031	Em contacto com ácidos liberta gases tóxicos.
EUH032	Em contacto com ácidos liberta gases muito tóxicos.
EUH044	Risco de explosão se aquecido em ambiente fechado.
EUH059	Perigoso para a camada de ozono.
EUH066	Pode provocar pele seca ou gretada, por exposição repetida.
EUH070	Tóxico por contacto com os olhos.
EUH071	Corrosivo para as vias respiratórias.
EUH201	Contém chumbo. Não utilizar em superfícies que possam ser mordidas ou chupadas por crianças.
EUH201A	Atenção! Contém chumbo.
EUH202	Cianoacrilato. Perigo. Cola à pele e aos olhos em poucos segundos. Manter fora do alcance das crianças.
EUH203	Contém crómio (VI). Pode provocar uma reação alérgica.
EUH204	Contém isocianatos. Pode provocar uma reação alérgica.
EUH205	Contém componentes epoxídicos. Pode provocar uma reação alérgica.
EUH206	Atenção! Não utilizar juntamente com outros produtos. Podem libertar-se gases perigosos (cloro).
EUH207	Atenção! Contém cádmio. Libertam-se fumos perigosos durante a utilização. Ver as informações fornecidas pelo fabricante. Respeitar as instruções de segurança.
EUH208	Contém <nome da substância sensibilizante em questão>. Pode provocar uma reação alérgica.
EUH209	Pode tornar-se facilmente inflamável durante o uso.
EUH209A	Pode tornar-se inflamável durante o uso.
EUH210	Ficha de segurança fornecida a pedido.
EUH401	Para evitar riscos para a saúde humana e para o ambiente, respeitar as instruções de utilização.

## Anexo 2 – Critérios para classificação de perigos das substâncias

Código	Perigo	Pontuação EV	Classificação CV	Código	Perigo	Pontuação EV	Classificação CV
H200	Físico	3	Alto	H330	Saúde	3	Alto
H201	Físico	3	Alto	H331	Saúde	3	Alto
H202	Físico	3	Alto	H332	Saúde	2	Moderado
H203	Físico	3	Alto	H333	Saúde	2	Moderado
H204:	Físico	2	Moderado	H334	Saúde	3	Alto
H205	Físico	3	Alto	H335	Saúde	2	Moderado
H220	Físico	3	Alto	H336	Saúde	2	Moderado
H221	Físico	2	Moderado	H340	Saúde	3	Alto
H222	Físico	3	Alto	H341	Saúde	3	Alto
H223	Físico	2	Moderado	H350	Saúde	3	Alto
H224	Físico	3	Alto	H351	Saúde	3	Alto
H225	Físico	3	Alto	H360	Saúde	3	Alto
H226	Físico	2	Moderado	H361	Saúde	3	Alto
H227	Físico	2	Moderado	H362	Saúde	2	Moderado
H228 (categoria 1)	Físico	3	Alto	H370	Saúde	3	Alto
H228 (categoria 2)	Físico	2	Moderado	H371	Saúde	3	Alto
H229	Físico	2	Moderado	H372	Saúde	3	Alto
H230	Físico	3	Alto	H373	Saúde	3	Alto
H231	Físico	2	Moderado	H400	Ambiente	3	Alto
H240	Físico	3	Alto	H401	Ambiente	3	Alto
H241	Físico	3	Alto	H402	Ambiente	2	Moderado
H242 (Tipo C & D)	Físico	3	Alto	H410	Ambiente	3	Alto
H242 (Tipo E & F)	Físico	2	Moderado	H411	Ambiente	3	Alto
H250	Físico	3	Alto	H412	Ambiente	2	Moderado
H251	Físico	3	Alto	H413	Ambiente	2	Moderado
H252	Físico	2	Moderado	H420	Ambiente	3	Alto
H260	Físico	3	Alto	EUH001	Físico	3	Alto
H261 (categoria 2)	Físico	3	Alto	EUH006	Físico	3	Alto
H261 (categoria 3)	Físico	2	Moderado	EUH014	Físico	3	Alto
H270	Físico	3	Alto	EUH018	Físico	3	Alto
H271	Físico	3	Alto	EUH019	Físico	3	Alto
H272 (categoria 2)	Físico	3	Alto	EUH029	Saúde	3	Alto
H272 (categoria 3)	Físico	2	Moderado	EUH031	Saúde	3	Alto
H280	Físico	2	Moderado	EUH032	Saúde	3	Alto
H281	Físico	2	Moderado	EUH044	Físico	3	Alto
H290	Físico	2	Moderado	EUH059	Ambiente	3	Alto
H300	Saúde	3	Alto	EUH066	Saúde	2	Moderado
H301	Saúde	3	Alto	EUH070	Saúde	3	Alto
H302	Saúde	2	Moderado	EUH071	Saúde	3	Alto
H303	Saúde	2	Moderado	EUH201	Saúde	3	Alto
H304	Saúde	3	Alto	EUH201A	Saúde	2	Moderado
H305	Saúde	2	Moderado	EUH202	Saúde	3	Alto
H310	Saúde	3	Alto	EUH203	Saúde	2	Moderado
H311	Saúde	3	Alto	EUH204	Saúde	2	Moderado
H312	Saúde	2	Moderado	EUH205	Saúde	2	Moderado
H313	Saúde	2	Moderado	EUH206	Saúde	3	Alto
H314	Saúde	3	Alto	EUH207	Saúde	3	Alto
H315	Saúde	2	Moderado	EUH208	Saúde	2	Moderado
H316	Saúde	2	Moderado	EUH209	Físico	3	Alto
H317	Saúde	2	Moderado	EUH209A	Físico	2	Moderado
H318	Saúde	3	Alto				
H319	Saúde	2	Moderado				
H320	Saúde	2	Moderado				

## Anexo 3 – Fórmulas para cálculo de métricas

As fórmulas são calculadas a partir da equação química representada por:



onde  $A$  e  $B$  representam os reagentes estequiométricos,  $P$  o produto,  $D$  o co-produto e  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , e  $d$  os coeficientes estequiométricos.

Tabela 6 – Fórmulas para cálculo de métricas de massa <sup>a</sup>

Minimização da Produção de Resíduos	Incorporação dos Átomos dos Reagentes no Produto
<b>Factor E</b>	<b>Economia Atómica Percentual, AE</b>
$Fator E = \frac{m_A + m_B + m_{aux} + m_s - m_p}{m_p}$	$AE = \frac{cM_p}{aM_A + bM_B} \times 100$
<b>Intensidade de massa, MI</b>	<b>Eficiência de Massa da Reação, RME</b>
$MI = \frac{m_A + m_B + m_{aux} + m_s}{m_p}$	$RME = \frac{m_p}{m_A + m_B} \times 100$
<b>Intensidade de solvente, SI</b>	<b>Eficiência Elementar Percentual do elemento X, XEE</b>
$SI = \frac{m_s}{m_p}$	$XEE = \frac{n_{xp}n_p}{n_{xA}n_A + n_{xB}n_B} \times 100$

<sup>a</sup>  $m_A$  e  $m_B$ , massa dos reagentes estequiométricos;  $m_{aux}$ , massa dos reagentes auxiliares;  $m_s$ , massa de solventes;  $m_p$ , massa do produto;  $M_A$ ,  $M_B$  e  $M_p$ , massa molar dos reagentes estequiométricos e produto;  $n_A$ ,  $n_B$  e  $n_p$ , quantidade de substância (mol) dos reagentes estequiométricos e produto;  $n_{xA}$ ,  $n_{xB}$  e  $n_{xp}$ , número de átomos do elemento X nas fórmulas químicas dos reagentes estequiométricos e produto.

Tabela 7 – Fórmulas para cálculo de métricas de energia e tempo

Métrica energética	Métrica de tempo
<b>Intensidade de Energia, EI</b>	<b>Intensidade de Tempo, TI</b>
$EI = \frac{E_{procedimento}}{m_{produto}}$	$TI = \frac{T_{procedimento}}{m_{produto}}$
$EI = \frac{E_{operação}}{m_{produto}}$	$TI = \frac{T_{operação}}{m_{produto}}$
$EI = \frac{E_{total}}{m_{produto}}$	$TI = \frac{T_{total}}{m_{produto}}$



## Anexo 4 – Questionário de usabilidade da Aplicação Web

Indique o seu grau de concordância ou discordância das seguintes afirmações relativas à avaliação de verdura em que:

1 – Nunca

2 – Quase nunca

3 – Regular

4 – Quase sempre

5 – Sempre

6 – Não se aplica

Visibilidade	1	2	3	4	5	6	Observações
Quando preciso de ajuda aplicacional a resposta é clara e de fácil acesso.							
Quando executo uma tarefa, a aplicação reage sobre o que está a acontecer.							
Os botões que utilizo para navegar entre os diferentes passos são claramente identificáveis e intuitivos.							
O estado dos botões, selecionado ou desseleccionado, é claramente demonstrado.							

Compatibilidade	1	2	3	4	5	6	Observações
Quando pretendo executar uma tarefa rapidamente encontro o botão de ação pretendido.							
A disposição dos botões de ação é adequada.							
Quando primo um botão, o resultado é o pretendido.							
O conteúdo das listas de valores corresponde no seu todo à categoria do botão que abriu a lista.							

Controle do utilizador e liberdade	1	2	3	4	5	6	Observações
Quando cometo um erro a aplicação permite-me revertê-lo							
Posso interromper uma ação e retomá-la sempre que desejar.							
Posso cancelar uma operação em curso.							
Posso eliminar qualquer mudança que estou a realizar e voltar ao estado anterior							

Consistência e Padrões	1	2	3	4	5	6	Observações
Os botões e janelas de localização são mantidos de forma coerente quando alterno entre passos.							
Os botões mantêm o mesmo significado durante toda a aplicação.							
O código de cor é consistente aplicado durante toda aplicação.							

Erros	1	2	3	4	5	6	Observações
A aplicação avisa-me quando ocorrem problemas de inserção de dados antes de executar a validação.							
Quando ocorre a validação dos dados a aplicação produz uma mensagem de erro se os dados não estiverem no formato esperado.							
O sistema avisa-me se estou prestes a cometer um erro grave.							

Reconhecimento	1	2	3	4	5	6	Observações
As cores usadas nos textos estão em conformidade com as convenções aceites para os seus significados							
O texto ou símbolo de cada botão transmite a ideia do que é esperado acontecer quando estou a utilizá-los.							
A informação relevante está presente na zona mais perceptível da página.							
As diferentes zonas aplicacionais estão distribuídas segundo uma lógica de usabilidade.							

Flexibilidade	1	2	3	4	5	6	Observações
Posso configurar a aplicação com as minhas definições							
Existem teclas de atalho que permitem executar as funções mais usadas							
A aplicação permite-me desabilitar temporariamente algumas das funções							

Estética	1	2	3	4	5	6	Observações
A formatação gráfica é suficiente para a apresentação dos dados.							
A informação relevante destaca-se do fundo e das zonas periféricas.							
Esteticamente a aplicação é agradável quanto a cor, brilho, etc.							

Ajuda de utilização	1	2	3	4	5	6	Observações
As mensagens são claras e adequadas.							
As mensagens indicam o problema com precisão.							
As mensagens são curtas e objetivas.							

Ajuda e Documentação	1	2	3	4	5	6	Observações
A área/função de ajuda é facilmente visível.							
A informação é completa, precisa e perceptível.							

Facilidade de aprendizagem	1	2	3	4	5	6	Observações
A aplicação é intuitiva.							
É fácil de aprender a trabalhar com a aplicação.							
Não preciso de ajuda para trabalhar com a aplicação.							

Desempenho do sistema	1	2	3	4	5	6	Observações
O tempo de resposta para as operações executadas é rápido o suficiente.							
O tempo de resposta, quando alterno entre separadores de trabalho, é suficientemente rápido.							

Confiança	1	2	3	4	5	6	Observações
Acerto da equação está correta.							
Os cálculos das métricas são corretos.							

### Classificação

Considerando todos os parâmetros que você analisou, como classifica a aplicação para a Avaliação de Verdura?

- ☐ Muito boa
- ☐ Boa
- ☐ Meramente adequada
- ☐ Inadequada
- ☐ Má

### Sugestões

Considera que há aspetos que não foram contemplados e deveriam ser? Quais?

Outras sugestões.